

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

**HARDWARE EMBARCADO PARA AQUISIÇÃO E ANÁLISE
DE SINAIS VITAIS USANDO O PROTOCOLO DE
COMUNICAÇÃO MODBUS**

LUÍS OTÁVIO SANTOS DE ANDRADE

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

LUÍS OTÁVIO SANTOS DE ANDRADE

**HARDWARE EMBARCADO PARA AQUISIÇÃO E ANÁLISE
DE SINAIS VITAIS USANDO O PROTOCOLO DE
COMUNICAÇÃO MODBUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PROCC) da Universidade Federal do Sergipe (UFS) como parte de requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Edward David Moreno Ordonez

Coorientador: Prof. Dr. Marco Túlio Chella

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Andrade, Luís Otávio Santos de

A553h Hardware Embarcado para Aquisição e Análise de Sinais Vitais usando o Protocolo de Comunicação ModBUS / Luís Otávio Santos de Andrade; orientador Edward David Moreno Ordoñez. - São Cristóvão, 2016.

120 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Rede de computadores - protocolos. 2. Interconexão em redes (Telecomunicações). 3. Monitorização fisiológica. 4. Informática na medicina. I. Ordoñez, Edward David Moreno, (orient.). II. Título.

CDU 004.728.3.057.4

LUÍS OTÁVIO SANTOS DE ANDRADE

**HARDWARE EMBARCADO PARA AQUISIÇÃO E ANÁLISE
DE SINAIS VITAIS USANDO O PROTOCOLO DE
COMUNICAÇÃO MODBUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PROCC) da Universidade Federal do Sergipe (UFS) como parte de requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edward David Moreno Ordonez, Presidente
Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Prof. Dr. Marco Túlio Chella, Membro
Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Prof.^a Dr.^a Adicinéia Aparecida de Oliveira, Membro
Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Prof. Dr. José Augusto Andrade, Membro
Instituto Federal de Sergipe (IFS)

HARDWARE EMBARCADO PARA AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE SINAIS VITAIS USANDO O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MODBUS

Este exemplar corresponde à redação na íntegra, da Dissertação de Mestrado, submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, para o Exame de Defesa do mestrando **LUÍS OTÁVIO SANTOS DE ANDRADE**, como parte de requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em 26 de agosto de 2016

Prof. Dr. Edward David Moreno Ordonez (UFS)
Orientador

Prof. Dr. Marco Túlio Chella (UFS)
Coorientador

Prof.^a Dr.^a Adicinéia Aparecida de Oliveira (UFS)
Membro

Prof. Dr. José Augusto Andrade (IFS)
Membro

**À minha esposa Joseilze e aos meus filhos Arthur Vinícius e Ana Luísa, pelo amor
incondicional.**

Aos meus pais, José Augusto e Ana Maria, sempre meu porto seguro.

**Aos meus sogro e sogra, José Severino e Maria Terezinha, por me amarem como um
filho.**

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por confortar meu espírito nos momentos de tormenta.

Ao Prof. Dr. Edward David Moreno Ordóñez, pela dedicação nas orientações neste período de aprendizado, pelo exemplo de profissional.

Ao Prof. Dr. David Lopes Neto pela contribuição como avaliador na fase de qualificação.

Ao Prof. Marco Túlio Chella pelas contribuições iniciais do meu estudo e aos professores Dr^a Adicinéia Aparecida de Oliveira e Dr. José Augusto Andrade pelas contribuições na avaliação final da minha defesa.

À minha mulher, esposa e companheira, por sua dedicação e motivação, e por sempre estar ao meu lado na busca de uma construção de uma vida humilde e reta.

Aos meus queridos e amados filhos Arthur e Luísa, por todo o amor e carinho de sempre.

Aos meus irmãos e, em especial, a Cris e Gugus, pelo apoio sem limites.

Aos meus cunhados e, em especial, a Jane, Teninho e Tércio, por me apoiarem nos momentos difíceis.

Aos amigos Glauco, Lauro e, em especial, a Tiago e Rafael, pelo aprendizado na construção do experimento.

Aos meus colegas de trabalho pelo apoio e discussão crítica do meu trabalho.

Ao amigo Jesimon Barreto (ex-aluno), pela contribuição como revisor da Revisão Sistemática da minha pesquisa.

Aos professores e colegas do programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, pelo aprendizado e convivência valorosos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade de qualificação profissional.

Ao Instituto Federal de Sergipe, minha casa profissional, por me permitir mais um avanço na carreira e, em especial, aos professores Dr. José Osman e MSc. Ricardo Monteiro, pela possibilidade de adequação das minhas atividades diárias.

Aos meus queridos alunos pela paciência e compreensão.

“ Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança. ”

“ Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis. A próxima tentativa pode ser vitoriosa. ”

Albert Einstein.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Padrão unitário (metro) para acesso público nas ruas de Paris	30
2.2	Diagrama Sistema de Medição Biomédica	31
2.3	Pirâmide da automação	37
2.4	Topologias de rede	38
2.5	Comunicação de dados orientado por nodo	39
2.6	Comunicação de dados orientado por mensagem	39
2.7	Definição de protocolos a partir dos requisitos e serviços da aplicação	40
2.8	Suporte de comunicação Produtor/Consumidor	41
2.9	Suporte de comunicação Cliente/Servidor	42
2.10	Quadro de mensagens do protocolo CAN	44
2.11	Comunicação mestre-escravo	46
2.12	ADU do protocolo ModBUS	49
5.1	Processo de detecção dos eventos biológicos	70
5.2	Arcabouço eletrônico para detecção dos eventos biológicos	71
5.3	Diagrama eletrônico do circuito de aquisição de sinais vitais	72
5.4	(a) Esquema do circuito de aquisição de sinais vitais. (b) Protótipo	73
5.5	Microcontrolador (a) e transceptor (b) utilizados na construção dos nodos escravos	73
5.6	Sensor de temperatura DS18B20 com (a) encapsulamento PR35 e (b) encapsulamento à prova d'água usado no experimento	74
5.7	Ilustração do sensor de pulso transceptivo	76
5.8	Ilustração do sensor de pulso reflexivo	77
5.9	Sensor de pulso reflexivo usado no experimento	78
5.10	Modelo de entrada analógica do PIC18F26K80	80
5.11	Teste preliminares do sensor de pulso	81
5.12	(a) Embarcação original e (b) modificada do coletor de sinais de pulso	82
5.13	Testes preliminares do sensor de pulso com mudança da embarcação	82
5.14	Teste de comunicação isolada do PIC18F26K80 no ambiente de simulação Proteus 8 Professional	83
5.15	Ambiente de simulação <i>TINA Design Suite vs 10.2.0.342</i>	84
5.16	Teste de comunicação CAN Simplex sentido nodo1-nodo2 no ambiente de simulação <i>TINA Design Suite</i>	85

5.17 Teste de comunicação CAN Simplex sentido nodo2-nodo1 no ambiente de simulação <i>TINA Design Suite</i>	85
5.18 Teste de comunicação CAN Barramento Serial no ambiente de simulação <i>TINA Design Suite</i>	86
5.19 Parâmetros do componente Resistor no ambiente de simulação <i>TINA Design Suite</i> .	87
5.20 Arquitetura baseada no protocolo ModBUS/RS485	87
5.21 Teste de comparação de coleta de temperatura do nodo1 com os termômetros comerciais	88
5.22 Teste de comparação de coleta de temperatura do nodo2 com os termômetros comerciais	89
5.23 Teste de comparação de coleta de frequência cardíaca entre o nodo1 e o frequencímetro e oxímetro comerciais	90
5.24 Teste de comparação de coleta de frequência cardíaca entre o nodo2 e o frequencímetro e oxímetro comerciais	90
5.25 Esquema de comunicação elaborado para o experimento de captura dos sinais vitais	91
5.26 Log de coleta de temperatura e de frequência cardíaca dos nodos sensores	92
5.27 Log de coleta de temperatura e de frequência cardíaca dos nodos sensores	92

LISTA DE GRÁFICOS

3.1	Artigos identificados (fase de execução)	54
3.2	Resultado da etapa de seleção dos artigos importados no StArt	55

LISTA DE QUADROS

2.1	Características de sinais vitais humanos	32
2.2	Comparação de propriedades de protocolos	40
2.3	Aplicações que utilizam protocolo CAN	44
2.4	Níveis do padrão OSI contemplados pelo ModBUS	46
2.5	Blocos do modelo de dados do Modbus	47
2.6	Códigos de função de especificação ModBUS	48
3.1	Sumários dos artigos analisados	57
3.1	Sumários dos artigos analisados (continuação)	58
3.1	Sumários dos artigos analisados (continuação)	59
3.1	Sumários dos artigos analisados (conclusão)	60
3.2	Artigos identificados, escopo, áreas e ambiente de aplicação	61
4.1	Faixa de dados de biosinais em bloco completo	65
4.2	Faixas amostrais por período (min)	66
5.1	Características elétricas do sensor DS18B20	72
5.2	Símbolos e valores de pinagem do DS18B20	72
5.3	Conversão analógico/digital	76
5.4	Relação dos componentes utilizados no experimento com valor de aquisição	94

LISTA DE TABELAS

2.1	Distribuição da média geral e desvio-padrão da variável temperatura oral, axilar e timpânica em pacientes hospitalizados, campinas – 2004.....	33
4.1	Estudo do ganho exponencial na largura de banda	65

LISTA DE SIGLAS

Inglês

ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
ADU	<i>Aplication Data Unit</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CRC	<i>Cicly Redundance Check</i>
CSMA	<i>Carrier-Sense Multiple Access</i>
EIA	<i>Eletronic Industries Allieance</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
NIC	<i>Nursing Intervention Classification</i>
NSC	<i>Network Control System</i>
RS	<i>Recommendaad Standart</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>

Português

CPA	Controlador Programável para Automação
IHC	Interface Homem-Computador
MAPA	Monitorização Ambulatorial da Pressão Arterial
PA	Pressão Arterial
PAD	Pressão Arterial Diastólica
PAS	Pressão Arterial Sistólica
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
USP	Universidade de São Paulo
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UTI	Unidade de Terapia Intensiva

SUMÁRIO

1 Introdução	18
1.1 Motivação	19
1.2 Justificativa	21
1.3 Hipótese	21
1.4 Objetivos da dissertação	22
1.5 Trabalhos relacionados sobre implementação de redes seriais	23
1.6 Organização da dissertação	26
2 Revisão de Literatura	28
2.1 Estudo dos sinais vitais.....	29
2.2 Protocolos de comunicação industrial.....	36
2.2.1 Topologia	38
2.2.2 Protocolos orientados por nodos	39
2.2.3 Protocolos orientados por mensagem	39
2.2.4 Controle de acesso ao meio	40
2.3 Modelo de comunicação de dados	41
2.4 Protocolo CAN	42
2.4.1 Atividades da camada de enlace	43
2.4.2 Atividades da camada física	43
2.4.3 Formato das mensagens	44
2.4.4 Aplicações	45
2.5 Protocolo ModBUS	46
2.5.1 Camadas do protocolo ModBUS	47
2.5.2 Códigos de função padrão	48
3 Revisão Sistemática.....	50
3.1 Metodologia	51
3.2 Planejamento da revisão sistemática	52
3.3 Execução da pesquisa	54
3.4 Procedimentos de seleção e extração	56
3.5 Resultados da revisão sistemática	57
3.6 Discussão dos resultados da RS	64
4. Dados de sinais vitais	66

4.1 Características	66
4.2 Delimitação do datagrama	67
5. Circuito de captura dos sinais vitais	70
5.1 Aquisição e digitalização de sinais vitais	70
5.2 Protótipo	71
5.2.1 Detalhamento do hardware	73
5.2.2 Sensor de temperatura DS18B20	74
5.2.3 Sensor de frequência cardíaca	75
5.3 Testes preliminares	80
5.3.1 Para o sensor de pulso	83
5.3.2 Para o sensor de temperatura	83
5.4 Testes com os protocolos de comunicação	83
5.4.1 Teste com o protocolo CAN modo serial simplex	84
5.4.2 Teste com o protocolo CAN utilizando barramento serial (dois fios)	85
5.4.3 Alternativa ModBUS para estabelecimento do nodo sensor de sinais vitais	87
5.4.4 Teste com o sensor de temperatura	87
5.4.5 Teste com o sensor de frequência cardíaca	89
5.4.6 Teste com o protocolo ModBUS padrão RS485	91
5.5 Discussões	93
6 Conclusão	95
6.1 Contribuições	97
6.2 Trabalhos futuros	97
Referências	100
Apêndice I	105
Apêndice II	107
Apêndice III	110
Apêndice IV	118

RESUMO

Redes de computadores em ambientes hospitalares são temas centrais de discussão sobre a utilização de sistemas aplicados à atividade em saúde que garantam a captura dos dados de sinais vitais. O presente trabalho teve como objetivo analisar o modelo de captura dos dados do nodo sensor proposto, utilizando o padrão de comunicação do protocolo ModBUS na aquisição de informações multiparamétricas de sinais biológicos de pacientes. A pesquisa foi desenvolvida com propósito experimental para a caracterização do protocolo ModBUS sob a rede serial RS485. Foi realizada, ainda, uma revisão sistemática para subsidiar a escolha do modelo de dados e do padrão de comunicação serial em redes cabeadas. Para tanto, foi construído um protótipo de nodo sensor (PIC18F26K20) para captura de temperatura corporal e frequência cardíaca na comunicação da rede com fio na qual os protocolos CANbus e ModBUS foram testados. Os dados dos nodos sensores foram submetidos a testes de captura e envio dos dados ao nodo central, e exibidos em plataforma portáteis (Smartphones). Foram, ainda, observadas as características de largura de banda e qualidade dos dados obtidos. A revisão sistemática demonstrou uma tendência na utilização do protocolo CANbus como padrão de comunicação cabeado para as atividades *HealthCare*, a aplicação utilizada no experimento apresentou limitações. No entanto, após experimento utilizando o protocolo ModBus, este mostrou-se adequado e de fácil implementação em aplicações na área hospitalar, tendo uma plataforma de baixo custo como solução para a referida área.

Descritores: Sinais Vitais Humanos, ModBUS, CANbus, Agregação de Dados, Aplicações *HealthCare*.

ABSTRACT

Computers network in the hospital environments are central topics of discussion on the use of systems applied to health care to ensure data capture of vital signs. This study aims at analyzing the data capture model of the proposed sensor node, using the Modbus protocol communication standard in the acquisition of multi-parametric information of biological signs of patients. The research was conducted with experimental purpose to characterize the ModBus protocol in the RS485 serial network. It was also performed a systematic review to support the choice of the data model and serial communication standard in wired networks. Thus, a sensor node prototype (PIC18F26K20) was built to capture body temperature and heart rate in the wired communication network in which the protocols CAN and ModBUS were tested. The data from the sensor nodes were subjected to capture tests and sending the data to the central node, and displayed on portable platform (Smartphones). It was also observed the bandwidth characteristics and quality of the obtained data. The systematic review showed a trend in the use of the CAN protocol as wired communication standard for HealthCare activities, the application used in the experiment presented limitations. However, after the experiment using the ModBus protocol, this was adequate and easy to implement applications in the hospital environment, having a low-cost platform as a solution to that area.

Keywords: Human Vital Signs, ModBUS, CANbus, Data Aggregation, Healthcare Application.

INTRODUÇÃO

A majoração do número de pacientes em leitos hospitalares tem preocupado cada vez mais as equipes de atendimento de saúde no que tange à necessidade de um maior controle das atividades inerentes aos profissionais pois, quanto maior o número de pacientes em uma unidade, mais informações sobre os mesmos devem ser coletadas, anotadas, controladas e arquivadas para consultas e tomadas de decisão.

Levando-se em consideração que o gerenciamento das informações por parte desses profissionais é realizado, em grande parte, de forma rudimentar (sem uso de tecnologia), é imprescindível a implantação de soluções que possibilitem a monitorização dos parâmetros de saúde de forma ágil e automatizada, a exemplo do que ocorre em Unidades de Terapia Intensiva (UTI).

No entanto, sabe-se que o investimento em tecnologias para a aplicação em unidades de atendimento de saúde nem sempre atrai a atenção dos gestores, o que leva estes a elencarem como prioridade, a manutenção de equipamentos, que exigem maior esforço do profissional de saúde, levando-se ao risco de coleta de informações não fidedignas.

Visar por uma atividade de atendimento de saúde utilizando processos de assistência hospitalar, tanto assistencial quanto de gestão das informações, de forma automatizada, significa poder tomar decisões precisas e ágeis (SMITH, 2010). Significa, ainda, buscar a otimização desses processos e a minimização dos riscos à saúde, contribuindo para a melhoria de qualidade da saúde da população assistida.

Desta forma, a utilização de métodos computacionais inteligentes em soluções distribuídas (HOERBST, 2009) tem sido uma temática frequentemente abordada em pesquisas na área de automação, fato este que contribui para a geração de informações que possibilitam tomadas de decisão eficazes por profissionais de saúde (FENG, 2007).

Associados aos métodos computacionais inteligentes, estão os recursos de Sistemas de Controle via Rede (*Network Control System* - NCS), capazes de agilizar a coleta e o resguardo da informação de forma íntegra, com a garantia de temporalidade e disponibilidade da informação em tempo real (NOF, 2009).

Os NSC, por sua vez, necessitam de implementações que possibilitem a leitura e o envio das informações com garantia de completude e agilidade de entrega ao solicitante, assim como ocorre na automação industrial (MODICON, 1996), processo que tem como princípio de construção a implementação de sistemas distribuídos e que agregam a robustez de informações e alta velocidade de comunicação (BEGG, 2007).

Além disso, o modelo de comunicação de dados adotado para integrar a tecnologia necessária, requer atenção por se tratar de ambiente em que há uma intensa radiação e/ou bloqueio de sinais causado pelas barreiras, a exemplo de equipamentos geradores de interferência eletromagnética e paredes com chumbo, comumente encontrados nesse tipo de ambiente (NEUMANN, 2008).

Assim, faz-se necessário avaliar a viabilidade do uso de equipamentos e tecnologia (padrão de comunicação) que sejam capazes de realizar a entrega da informação sem que afete a integridade do modelo de comunicação concebido, levando-se em consideração, ainda, a otimização de custos.

1.1 Motivação

Os dados de diagnóstico de sinais vitais são considerados dados críticos de alto risco e que requerem sistemas de transmissão com tempo restrito. A necessidade de observação contínua nos leitos de Unidades de Terapia Intensiva (UTI) requer uso de equipamentos individualizados, com uma rede de comunicação em tempo real, para a detecção de eventos que possam alertar, no menor tempo possível, as equipes de saúde responsáveis pelas atividades de cuidado do paciente.

Em estudo semelhante a este trabalho, Azmi *et al.* (2011) desenvolveram uma solução para aquisição e transferência de dados de sinais biológicos humanos de uma estação de monitoramento de tempo real, própria para o uso em UTI, em uma rede serial baseada em protocolo CANbus, com um modelo de aquisição de dados capaz de promover robustez ao barramento.

A potencialidade de sustentar variadas aplicações em sistemas de automáticos e de controle é uma característica dos protocolos CAN (JUN; LIANGZHONG; FUAN, 2010; KASHIF; BAHIG; HAMMAD, 2015), características essas que:

- Reduzem o custo e a complexidade de construção em virtude da sua simplicidade do meio de transmissão (dois fios), possibilitando, ainda, grande proteção contra os atenuantes eletromagnéticos;
- Possibilitam uma larga variação das taxas de comunicação (entre Kbps a 1 Mbps);
- Os modelos de arbitragem de transmissão ao barramento evitam colisões.

De modo semelhante, o protocolo Modbus (MODICON, 1996) é amplamente utilizado como padrão de comunicação de rede, oferecendo possibilidades de variação de taxas de comunicação entre Kbps a 1,2 Mbps, dependendo da quantidade de nodos na rede. É comum a utilização do protocolo Modbus nas aplicações de instrumentos e equipamentos de laboratórios, na automação de navios e na automação residencial.

Promover essa tecnologia em leitos de hospitais, onde é comum a aquisição manual dos sinais vitais de pacientes, potencializa a equipe de saúde para as atividades de evolução do paciente, onde as decisões são melhoradas pela possibilidade de verificação das informações em tempo real.

As novas práticas de utilização de tecnologia aumentam a cada ano, por parte da equipe de saúde, a exemplo da utilização de sistemas para aplicações de gerenciamento de medicamentos, além dos sistemas eletrônicos para a aquisição de dados. Isso torna factível o investimento em sistemas de automação e controle em tempo real para acompanhamento de pacientes em leitos de enfermarias de hospitais, utilizando redes confiáveis para a aquisição e transmissão dessas informações.

Os protocolos de redes de interface serial e que operam nos padrões elétricos RS232 e RS485, tornam-se um importante aliado na busca por um sistema que viabilize a aquisição de dados de sinais vitais de pacientes, confirmada em estudos internacionais (AZMI *et al.*, 2011; ISHAQUE *et al.*, 2012). Resultados de ambos os trabalhos afirmam que a utilização de protocolos CAN são viáveis em sistemas de controle distribuído.

O uso de novas metodologias de análise e simulação de desempenho de sistemas distribuídos são necessárias ao melhor dimensionamento e otimização desses sistemas (GUOHUAN; HAO; WEI, 2009), o que viabiliza a redução de custos de projeto e implementação de sistemas de aquisição de dados na área de saúde.

Orientado por essa metodologia, trata-se neste trabalho o desenvolvimento e a aplicação de um modelo de protocolo baseado em comunicação serial de rede para aquisição de sinais vitais de pacientes assistidos na área hospitalar.

1.2 Justificativa

A escolha por uma arquitetura de rede com fronteira (meio de comunicação com fio) justifica-se pela necessidade de eliminar grande parte dos riscos de falha de comunicação próprios do ambiente hospitalar (NEUMANN, 2008; KOZAK, 2009; MOHANRAJ *et al.*, 2013), bem como garante a autonomia do nodo sensor em relação ao consumo de energia, vez que os nodos sensores de uma rede sem fio promovem a interrupção do serviço de aquisição de dados por falta de energia.

Outro fator relevante quanto à autonomia desses nodos sensores refere-se ao fato de que os mesmos possibilitarão a continuidade de monitorização dos sinais vitais, mesmo desconectados da rede, em situações de locomoção de pacientes em ambiente intra-hospitalar, quando projetados com bateria e memória para armazenamento dos dados.

Nesse caso, o nodo sensor junto ao corpo do paciente manterá a aquisição dos dados ativa através do armazenamento local (atividade comum em equipamentos gravadores de mapa e holter), executando a transmissão dos pacotes de dados ao efetivar a reconexão na rede, quando do retorno do paciente ao leito.

1.3 Hipótese

Para nortear o desenvolvimento desta pesquisa e, ainda, para atingir os objetivos da proposta deste trabalho, algumas hipóteses foram levantadas:

Q1 → quais modelos de rede com fio (tipos de protocolo) devem ser considerados na obtenção de sinais vitais de pacientes?

H1 → a primeira hipótese desta dissertação é que as redes seriais de padrão elétrico RS232/RS485 utilizando protocolos CAN e ModBUS são adequadas ao excelente condicionamento dos nodos sensores de sinais vitais e, ainda, proporcionam elevada segurança para a transmissão dos dados

Q2 → como analisar a melhor entrega dos dados de sinais vitais na rede?

H2 → é possível observar a periodicidade dos eventos de sinais vitais e entender o volume de dados capturados pelo nodo sensor em uma ação temporal e,

consequentemente, determinar a taxa de envio desses dados por meio do padrão de comunicação serial escolhido.

1.4 Objetivos da Dissertação

O objetivo principal deste trabalho é propor um hardware embarcado específico para coleta e análise de sinais vitais humanas para uso em ambientes hospitalares. Nestes ambientes sugere-se que exista cuidado com o modo em que os sinais são agregados e transmitidos, dada a alta complexidade e importância dos dados trafegados nesses ambientes, motivo pelo qual focamos no uso do protocolo de comunicação ModBUS.

Para atingir esse objetivo, foram elencados objetivos específicos, a saber:

- Identificar as principais normas/padrões (*International Organization for Standardization* - ISO 11898-2 (alta velocidade), ISO 11898-3 (tolerante a falhas / baixa velocidade), ISO 11992-1 e *Society of Automotive Engineers* - SAE J2411 (meio de transmissão utiliza uma única linha para transmissão e recepção), RS-232 (*Recommendad Standart-232*) ou EIA-232 (*Electronic Industries Alliance-232*), utilizado apenas em comunicações ponto a ponto e o padrão RS-485 (*Recommendad Standart-485*) ou EIA-485 (*Electronic Industries Alliance-485*) que permite trabalhar com taxas de comunicação que podem chegar a 12Mbps e em alguns casos até 50Mbps, nacionais e internacionais para o modelo de comunicação dos protocolos CAN e ModBUS, certificações existentes e patentes em relação ao nodo sensor para sinais vitais;
- Identificar os parâmetros e características associados às atividades de captura de sinais vitais, baseados em normas nacionais e internacionais estabelecidas;
- Analisar características de sinais vitais de frequência cardíaca e temperatura, produzidos e adquiridos pelo nodo sensor (taxa de amostragem e volume de dados de leitura);
- Projetar um hardware específico de baixo custo, microcontrolado, dotado de sensores com as características necessárias à captura dos sinais vitais já mencionados e transceptor de comunicação que se adeque às especificações dos protocolos supracitados, os quais devem constituir os nodos sensores;
- Testar via simulação (ferramentas de circuitos) e experimental (uso de redes seriais padrão RS485);

- Homologar a qualidade em termos de latência e a confiança dos dados adquiridos pelo nodo sensor na aquisição de sinais vitais de pacientes, suportados pelo protocolo definido neste trabalho.

1.5 Trabalhos relacionados sobre implementação de redes seriais

O embasamento bibliográfico inicial no trabalho em questão foi pautado na busca por teses, dissertações, livros e artigos nas bases digitais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da Universidade de São Paulo (USP), e fontes especializadas como *Association for Computing Machinery* (ACM), *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) e *Springer*. Nestas bases foram tratadas as questões relacionadas ao contexto das tecnologias e padrões de comunicação.

Para a questão relacionada ao uso de tecnologias aplicadas a áreas de saúde, especificamente o que diz respeito a sinais vitais, foram utilizados livros e acesso à base Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), assim obtendo resultados que foram o impulso inicial desta pesquisa.

Observou-se que a grande parte dos trabalhos levantados e que tem relação com o contexto dessa pesquisa, apresentaram-se, principalmente, nas bases ACM e IEEE, utilizando, individualmente, termos de busca como <"Nodos Sensores"; "Sensor Node"> e <"Sinais Vitais"; "Vital Signs">, totalizando inúmeros artigos. Este resultado foi fundamental para a decisão de uso da metodologia de pesquisa com revisão de literatura secundária (revisão sistemática) para melhor definição dos padrões de comunicação serial aplicados nos últimos dez anos.

Adotando a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) como modalidade de revisão bibliográfica, foi possível responder aos questionamentos dessa pesquisa e a tomada de decisão do uso do protocolo ModBus como padrão para a comunicação e controle dos nodos sensores desenvolvidos nesse estudo.

As implementações de protocolos para redes seriais para sistemas embarcados de tempo real são tema de estudo de vários autores. Estudo de Jena *et al.* (2014) aponta um método alternativo de sincronização de relógio conhecido como *Eight-to-Eleven Modulation* (EEM), técnica usada para comparação com as conhecidas técnicas de "bit stuffing", caracterizadas em Sistemas *Bit Stuffing* (SBS), em que as técnicas EEM apresentaram resultados superiores. A técnica proposta foi validada através da aplicação de *Field-Programmable Gate Array* (FPGA).

De modo geral as técnicas de “*bit stuffing*” acrescentam uma pequena carga no barramento, provocando um aumento do “*jitter*”, atividade indesejada na regulação da recepção dos pacotes. Porém, Jena *et al.* (2014) garantem que o algoritmo *Eight-To-Eleven Modulation* (EEM) reduz o “*jitter*” na rede de comunicação.

No estudo de Cena *et al.* (2013) é apresentado um esquema de codificação de software para *payload* capaz de garantir que nenhum “*bit stuffing*” seja adicionado ao campo de dados pelo controlador CAN durante a transmissão e, conseqüentemente, diminui o atraso de modo considerável. Posteriormente, a solução proposta foi submetida à avaliação para mostrar como a simplicidade e a alta performance inerentes ao esquema produzido foram adequados para as arquiteturas embarcadas.

Relacionado a trabalhos que analisam o impacto da comunicação de redes de sensores quanto à limitação temporal das atividades de controle dos sistemas que se apresentam nessas redes, o trabalho de Cervin (2003) aborda o estudo do impacto de atrasos de amostragem baseado na definição de índices de desempenho.

Contudo, no estudo deste trabalho realizou-se uma abordagem que interveio no processo de modelagem dos dados de sinais vitais para a adaptação ao protocolo escolhido, procurando-se caracterizar tempos específicos para a requisição dos sinais vitais, fator que diminuiu a carga de quadros de dados na rede de comunicação.

Referente a trabalhos para desenvolvimento e caracterização dos nodos sensores aplicados à aquisição de sinais vitais, a literatura apresenta trabalhos que definem a modelagem para a utilização dos nodos sensores coordenador e de aquisição de dados (CRUZ *et al.*, 2016) de topologia de rede em estrela usando módulos transceptores nRF24L01 (SHARMA *et al.*, 2011), o que garantiu a transferência de mensagens entre o nodo sensor de aquisição de dados e o coordenador, resultando na redução de consumo de energia, suportando 84 canais de a uma taxa de transmissão de 2 Mbps, suficiente para a implementação da rede.

Apesar de não ser contexto do estudo desta dissertação o uso de tecnologia sem fio, procura-se entender o arcabouço que caracteriza o nodo sensor utilizado para a captura dos sinais vitais e a implementação que define a arbitragem desse nodo.

Em trabalhos semelhantes sobre a construção de protótipos para a captura de sinais vitais, Chen e Pompili (2010) propõem uma solução de intra-rede para priorizar a transmissão de sinais vitais de pacientes, utilizando redes sem fio junto ao corpo. A solução depende de uma estratégia de programação e de gerenciamento de distribuição de prioridades com base na condição atual do paciente e no requisito fim-a-fim de atraso/confiabilidade do sinal vital. A

solução proposta foi implementada no TinyOS e seu desempenho foi testado em um cenário real.

Buscou-se em Chen e Pompili (2010) observar, principalmente, a caracterização isolada do nodo sensor na tentativa de elaboração de uma arquitetura de baixo custo para viabilizar o investimento do experimento. Mesmo entendendo a finalidade quando comparado à proposta de desta dissertação, os referidos autores proporcionaram um direcionamento para o uso de simulação no início do experimento, atividade esta caracteriza no capítulo 5 deste estudo.

Já Huang *et al.* (2014), apresentam o WE-CARE, um sistema de telecardiologia inteligente com utilização de dispositivos de eletrocardiograma (ECG) móveis. O sistema WE-CARE tem uma ampla variedade de aplicações, comparado aos sistemas de ECG de repouso existentes em hospitais. Foram realizados ensaios clínicos com a implantação dos sistemas de WE-CARE no Hospital da Universidade de Pequim. Os resultados clínicos mostraram claramente que a solução alcança uma alta taxa de detecção de mais de 95%, em relação aos tipos comuns de anomalias no ECG.

O mecanismo de detecção ECG de WE-CARE inclui dois algoritmos que garantem uma elevada taxa de detecção de anomalias - uma taxa de 99,3 % para a detecção do complexo QRS e uma taxa de 97,7 % para a detecção da onda T, conforme resultados de ensaios clínicos. Como demonstrado pelos resultados clínicos, o sistema WE-CARE é uma ferramenta útil *mHealth* e eficiente (saúde móvel) para o diagnóstico e tratamento de doenças cardiovasculares em plataformas médicas.

Diferente dos trabalhos que buscam a captura de informações de sinais biológicos por ECG, buscou-se neste trabalho limitar-se à captura simplificada dos sinais biológicos, evitando um número maior de sensores no corpo, o que não inviabiliza a análise dos dados capturados.

Nos trabalhos que apresentam a aplicação do protocolo CAN para ambientes hospitalares, destaca-se o de Yubin *et al.* (2010). O trabalho apresenta a construção de uma plataforma constituída por dispositivos inteligentes baseados no microcontrolador AT89C52 e comunicação por barramento CAN para controle de transfusão. Nas simulações realizadas com o dispositivo e com o software de monitoramento de sinais de infusão intravenosa, os resultados demonstraram simplicidade e prática de uso, baixo custo e bom desempenho, no qual o projeto poderia proporcionar dados precisos e confiáveis para a assistência de médicos e enfermeiros.

Tais resultados fortalecem o interesse da proposta do trabalho em questão, sob a ótica da necessidade de uso de uma plataforma de baixo custo (nodo sensor para a captura dos sinais vitais) e de uma tecnologia de comunicação com fio simples e confiável, dada a possibilidade de implantação futura em hospitais públicos.

Numa proposta semelhante ao contexto do trabalho em questão, Waters *et al.* (2007) apresentam uma solução de dispositivos de leitura de pressão arterial invasiva, na qual sugere a padronização da utilização desses dispositivos (nodos sensores) em rede de comunicação com protocolo CAN próximo ao leito do paciente. A solução foi desenvolvida na camada de Aplicação (CANopen) e o estudo de caso demonstrou os benefícios da comunicação entre dispositivos médicos diferentes.

O estudo desta dissertação caracteriza, de modo geral, a captura de sinais vitais de forma não invasiva, por entender que esses métodos são suficientemente capazes de expressar e representar numericamente os fenômenos físicos dos sinais vitais.

1.5 Organização da dissertação

O texto desta dissertação está organizado em sete capítulos que fornecerão toda a base conceitual, metodológica e empírica para o entendimento completo do estudo realizado. Os tópicos a seguir descrevem o conteúdo de cada um destes capítulos:

- O capítulo 1 apresenta as argumentações, problemática e hipóteses sobre o tema, os objetivos, as definições preliminares de literatura e os trabalhos relacionados;
- O capítulo 2 expõe a revisão de literatura relacionada a sistemas aplicados à área de saúde, especificamente o que diz respeito a monitoramento de sinais vitais de pacientes (temperatura corporal, frequência cardíaca, frequência respiratória e a pressão arterial), bem como trata os conceitos de sinais vitais. Também são tratados neste capítulo os conceitos dos protocolos CAN e Modbus, observadas as tendências dos trabalhos relacionados já observados na seção 1.5, e que caracterizam a utilização de nodos sensores utilizando os padrões de comunicação ora mencionados;
- O capítulo 3 demonstra a metodologia utilizada para a revisão de literatura adotada (Revisão Sistemática) bem como são apresentados os resultados dessa revisão e a síntese do processo de sumarização dos trabalhos estudados;
- O capítulo 4 apreseta as características dos dados trafegados na rede utilizando os referidos protocolos, abordando o mapeamento dos dados que serão coletados pelo nodo sensor e a formatação do datagrama;

- O capítulo 5 realiza uma abordagem relacionada a arquitetura do protótipo do nodo sensor construído para a simulação e a arquitetura do sistema de aquisição e transmissão de dados, demonstrado o resultado dos testes realizados, além das discussões do estudo desta dissertação;
- Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões desta dissertação e considerações finais, suas contribuições e trabalhos futuros.

REVISÃO DE LITERATURA

Pesquisas atuais destinadas à evolução das atividades inerentes ao ambiente hospitalar que otimizam os serviços prestados e minimizam os riscos à saúde da população (NOF, 2009) têm sido motivadas pela necessidade de desenvolvimento e implantação de novas tecnologias. Estas englobam a busca de modelos de tecnologia que se ajustem adequadamente à resolução do problema do mundo real, resultando na fabricação de grandes soluções de dispositivos embarcados.

No que se refere a leitos hospitalares, não é comum o investimento desses dispositivos que aprimorem a coleta, o registro, o controle e arquivamento das informações de forma ágil e automatizada, tampouco que proporcionem a tomada de decisão.

O estudo de Hass (2012), que buscou evidenciar a evolução das pesquisas envolvidas com a fabricação de artefatos computacionais com solução para o monitoramento das Unidades de Terapia Intensiva (UTI), foi proposto o desenvolvimento de sistema com capacidade de gerir equipamentos e centralizar as informações geradas por estes, proporcionando robustez no auxílio às atividades de profissionais de saúde.

Diversas pesquisas foram identificadas sob o eixo temático do monitoramento de pacientes em tempo real, através da aplicação de sensores não invasivos e de forma remota, para observação de informações biométricas, como por exemplo: taxa glicêmica, pressão arterial (Zhang; Xiang; Poon, 2006), frequência cardíaca, frequência respiratória, saturação de oxigênio, sudorese, dentre outras. Em sua maioria, foi destacada a escolha de soluções para a utilização de tecnologia de rede de comunicação sem fio (ASADA *et al.*, 2003).

Porém, é sabido que os ambientes hospitalares são produtores de ruídos (interferências eletromagnéticas e barreiras de sinais) que podem afetar, consideravelmente, a massa de dados produzida por sistemas aplicados à área em questão, comprometendo o serviço de atuação de profissionais no atendimento e tomada de decisão e, portanto, colocando em risco a vida de pacientes. A escolha por uma tecnologia de rede que vise alto desempenho está associada à avaliação de métricas que determinam a qualidade do desempenho das redes (GODOY *et al.*, 2010).

Mesmo que o uso de redes sem fio seja comum nos dias atuais, a opção de uso de tecnologia de redes com fio é uma alternativa que agrega valor na determinação do alcance de resultados de alto desempenho de redes de comunicação. As redes CAN, essencialmente aquelas utilizadas em sistemas que se caracterizam pela utilização de grupo de sensores - redes industriais, manufatura, sistemas de comunicação automotiva e aeroespacial (CHEN; TIAN, 2009) - também têm sido bastante aplicadas para o emprego da comunicação de sistemas em ambientes hospitalares (NEUMANN, 2008).

Assim como as tecnologias sem fronteira, as redes CAN evoluem sob o aspecto da busca da melhor qualidade e confiança da entrega das mensagens, observando a sua evolução pela aplicação de métodos estatísticos (SHEN; ZHOU; WANG, 2014) para modelagem da aquisição de dados e comunicação do nodo sensor na rede em questão, propondo a adaptação dos protocolos estabelecidos para esta tecnologia, que visa a redução de falhas e atrasos comumente encontrados nos casos reais (KELKAR; KAMAL, 2014).

Ainda, observando as características do estado do paciente em torno das suas necessidades fisiológicas (como deambular), é necessária a elaboração de um protótipo que permita a interrupção do uso deste para que o usuário consiga realizar as suas atividades afastadas do leito.

Nesse panorama, as próximas seções apresentam conceitos acerca dos sinais vitais e trabalhos que propõem alternativas para o desenvolvimento de soluções por meio de modelagem comunicação de dados e simulação de redes em contextos diferentes do escopo desta pesquisa.

2.1 Estudo dos sinais vitais

Segundo Crease (2011), uma grandeza física é uma forma de expressão numérica que os estudiosos encontraram para explicar os fenômenos da natureza os quais a percepção humana não é capaz de compreender em tempo real.

Em parte, as grandezas são explicadas por representações numéricas escalares, um número (magnitude) e uma referência (unidade de medida). As grandezas de representação vetorial, além de um número e uma referência, se expressam, também, por direção e sentido. Todos os tipos de grandeza física têm a si associados seu tipo de unidade de medida.

A unidade de medida é definida por seu padrão unitário (figura 2.1) o qual é utilizado para estabelecer a comparação quantitativa e determinar a magnitude da grandeza que se quer representar. Dessa forma, pode-se mensurar os fenômenos a partir do número de vezes que um determinado padrão unitário se faz representar na medida que está sendo realizada.



Figura 2.1 – Padrão unitário (metro) para acesso público nas ruas de Paris.

Fonte: Crease, 2011.

Nesse raciocínio, os sinais vitais são definidos como medidas que fornecem dados de fenômenos fisiológicos que indicam as condições de saúde do indivíduo. Os mais frequentes compreendem a temperatura, o pulso, a pressão arterial e a frequência respiratória (POTTER; PERRY, 2013).

Para Carvalho (2008), é necessário compreender os mecanismos que geram o sinal quando se procurar medir parâmetros de seres vivos e, ainda, precisa-se observar e analisar os efeitos dos recursos (equipamentos) utilizados para medir e propor os melhores métodos para se obter valores confiáveis e precisos dos parâmetros e variáveis investigados.

A instrumentação na área de saúde que envolve a atividade de investigação dos fenômenos fisiológicos compreende dispositivos que determinam valores de grandeza. São equipamentos de arquitetura mecânica/elétrica/eletrônica que realizam atividades de monitoração, diagnóstico ou tratamento, gerenciados por sistemas de medição sob a supervisão e operação de profissionais especializados de saúde.

Num sistema de medição, as técnicas e métodos mais utilizados são os matemáticos e os estatísticos. Nestes, os dados resultantes da medição (amostra) são comparados aos dados desejados (parâmetros de uma população). Desta forma ocorre, também, nos sistemas de medição biomédicos nos quais a medição, por inferência, obtém a relação (matemática ou estatística) da quantidade biológica medida com a quantidade desejada (CARVALHO, 2008).

A seguir encontra-se ilustrado um diagrama funcional de um sistema biomédico para a captura de sinais fisiológicos sob a forma de sinais elétricos, por meio de transdutores (figura 2.2). Os sinais elétricos, que são equivalentes aos sinais biológicos capturados pelos sensores e calibrados pelos transdutores, irão representar a quantidade de medida da grandeza que será analisada, resultando na informação desejada.

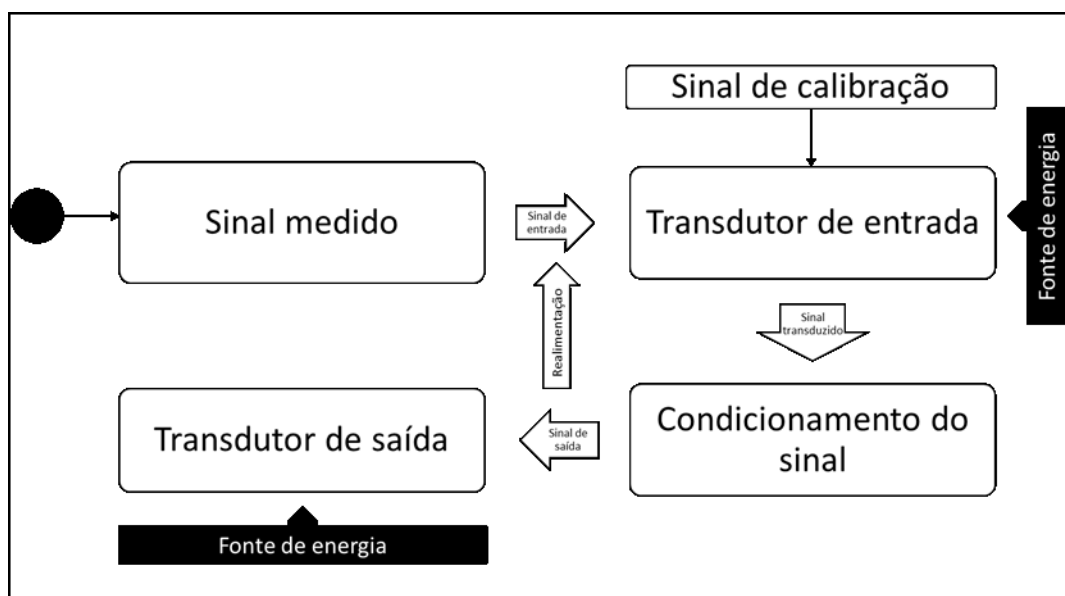


Figura 2.2 – Diagrama Sistema de Medição Biomédica

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

Os sinais fisiológicos podem ser classificados por suas características apresentados por um período de observação, como:

- Estáticas – sinais não mudam nunca ou pouco se modificam com o passar do tempo;
- Dinâmicas – sinais modificam-se em curtos períodos de tempo.

Neste estudo, avaliamos o comportamento de dois dos quatro sinais vitais (temperatura e frequência cardíaca) em um sistema de captura destes sinais trafegando em uma rede com fio. No quadro 2.1, são apresentados exemplos de sinais vitais, suas características e aplicações.

Quadro 2.1 – Características de sinais vitais humanos

Parâmetro fisiológico	Faixa de amplitude do sinal	Faixa de frequência do sinal	Trandutor
Fluxo sanguíneo	1 – 300 ml/s	DC – 20 Hz	Fluxômetro eletromagnético, ultrasônico
Temperatura	32 – 40 °C	DC – 0,1 Hz	Resistência, Pirométrico ótico
Fluxo Respiratório	60 – 100 bpm	0 – 40Hz	Pneumotacógrafo com transdutor indutivo, capacitivo
Pressão Arterial	0 – 400 mmHg	0 – 30Hz	Capacitivo, indutivo, strain gauge

Fonte: Própria do autor, 2016.

Existem diversas formas de medida da temperatura as quais podem refletir a temperatura central do corpo cujos parâmetros podem variar mesmo nas pessoas em repouso, de acordo com a via e outros fatores como: ciclo diurno, ciclo menstrual, exercício e idade. As seguintes variações são consideradas, de acordo com a via de verificação: temperatura axilar de 35,7 a 36,9 °C; temperatura oral de 36,0 a 37,6 °C; e temperatura retal de 36,3 a 38,2 °C (JARVIS, 2012).

Apesar de estatísticas indicarem que mais de 30% dos atendimentos de emergência compreendem a febre como queixa principal, verifica-se que a monitorização desse sinal vital em clientes hospitalizados, sobretudo em crianças, muitas vezes não se fundamenta em pesquisas e permanece inconsistente (JBIEBNM, 2001).

Nesse sentido, autores (JBIEBNM, 2001; WATTS; ROBERTSON e THOMAS, 2003; SALGADO *et al.*, 2015) enfatizam a importância do registro cuidadoso da curva térmica em pacientes hospitalizados, a qual deve ser pesquisada e comparada com os padrões clássicos, ainda que não haja, um consenso a respeito de qual o intervalo de tempo a temperatura deve ser medida devido, muitas vezes, o aprazamento dessa intervenção variar de acordo com as condições clínicas dos pacientes.

De acordo com o sistema internacional de Classificação das Intervenções de Enfermagem (do inglês, *Nursing Intervention Classification* - NIC), para fins de regulação da

temperatura corporal, deve-se monitorá-la, no mínimo, a cada duas horas, conforme apropriado (BULECHECK *et al.*, 2016).

A temperatura corporal normalmente varia de acordo com o indivíduo e com a hora do dia, sendo considerada uma faixa de variação normal em torno de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ (Simões; Martino, 2007). Os referidos autores, nos seus estudos sobre variabilidade circadiana da temperatura oral, timpânica e axilar em adultos hospitalizados, demonstraram a distribuição de média geral e desvio padrão para a análise de variância, conforme tabela 2.1, apresentada a seguir.

Tabela 2.1 – Distribuição da média geral e desvio-padrão da variável temperatura oral, axilar e timpânica em pacientes hospitalizados, Campinas – 2004

Temperatura geral	Média	DP	Mínimo	Máximo
(N=810)	36,57°C	0,73°C	33,1°C	38,5°C

*p=0,05; dp= desvio-padrão; análise de variância

Fonte: SIMÕES; MARTINO, 2007.

Desta forma, conclui-se que a temperatura, sob a avaliação de Carvalho (2008), é um sinal estático, pois não apresenta (ou apresenta pouca) variabilidade em um período de investigação, podendo ser coletado em períodos mais longos (a cada duas ou quatro horas), observação esta importante para a agregação dos dados e critérios de arbitragem dos nodos sensores que estão discutidos na seções 4 e 5.

A verificação do pulso arterial fornece o ritmo e a frequência cardíaca (número de batimentos cardíacos por minuto - bpm) e, ainda, sinaliza dados locais sobre as condições das artérias, visto que as artérias carótidas ficam mais próximas ao coração e refletem um pulso mais fidedigno da função cardíaca. O pulso radial é o mais acessível para a avaliação, enquanto que o pulso apical pode ser avaliado pela ausculta cardíaca (BARROS, 2016).

Em relação ao ritmo do pulso, este classifica-se como regular ou irregular, sendo que, quando o ritmo for irregular, é necessário verificar a frequência cardíaca em 1 minuto inteiro, enquanto se palpa simultaneamente o pulso radial e realiza ausculta do pulso apical (COELHO JÚNIOR, 2015).

Um pulso irregular ocorre quando há um intervalo interrompido por batimento precoce ou tardio, ou falta de batimentos, o que sinaliza algum tipo de arritmia cardíaca. Em um adulto, a frequência inferior a 60 bpm é denominada bradicardia, enquanto a frequência acima de 100 bpm, corresponde a taquicardia (JARVIS, 2012).

É importante frisar que “frequência cardíaca” e “frequência de pulso” não são sinônimos. Algumas arritmias podem originar frequência cardíaca diferente da frequência de pulso. A frequência do pulso pode ser influenciada por fatores como: exercício, febre, calor, dor aguda, ansiedade, dor intensa não aliviada, drogas, hemorragia e alterações posturais (COELHO JÚNIOR, 2015).

Existem dois termos que são utilizados para definir apenas a pulsação periférica aferida nas artérias radiais: taquisfigmia (aumento da frequência de pulso) e bradisfigmia (diminuição da frequência de pulso). Existem outras avaliações que podem ser feitas em relação ao pulso: forte ou fraco (traduz a intensidade); ausente, diminuída, normal ou em rebote (reflete a qualidade); fraco (filiforme) ou forte (cheio), traduzindo o contorno do pulso (COELHO JÚNIOR, 2015).

A pressão arterial (PA) corresponde à força que o sangue exerce nas paredes dos vasos sanguíneos e se relaciona diretamente com o débito cardíaco e a resistência vascular sistêmica (BARROS, 2016).

A pressão máxima percebida na artéria durante a sístole (contração do ventrículo esquerdo) é chamada pressão arterial sistólica (PAS); enquanto que a pressão arterial diastólica (PAD) corresponde àquela em que o sangue exerce constantemente entre cada contração. São considerados valores normais de pressão arterial: $PAS < 130$ e $PAD < 85$ mmHg.

Fatores de risco como hereditariedade, idade, sexo e etnia, obesidade, sedentarismo, má alimentação, sal em excesso, álcool, tabagismo e estresse, dentre outros, podem ser responsáveis pela elevação da pressão arterial (SBC, 2007).

Nas últimas décadas, o valor das medidas de pressão arterial casuais tem sido questionado quanto à sua utilização para a determinação de diagnósticos, prognósticos e eficácia terapêutica, ocasionando discussões e pesquisas sobre a eficácia de métodos de avaliação do comportamento da pressão arterial. Em decorrência disso, tem-se buscado o emprego de métodos que proporcionem a obtenção de dados que melhor avaliem o comportamento da PA, bem como o desenvolvimento de equipamentos mais confortáveis, seguros e confiáveis (NOBRE; MION JÚNIOR, 2016).

Nesse sentido, a Monitorização Ambulatorial da Pressão Arterial (MAPA), tem sido um dos métodos de escolha para a medida da pressão arterial durante períodos de 24 horas ou mais, o que possibilita o registro contínuo de medidas da pressão arterial, além da avaliação de possíveis flutuações da PA, cujos dados podem ser demonstrados sob a forma de

resumo analítico ou de gráficos que expressem as variações das pressões obtidas durante o tempo de monitorização (NOBRE; MION JÚNIOR, 2016).

Considerando que a hipertensão arterial é fator de risco importante para doenças cardiovasculares e outras complicações, além de ser um dos mais importantes problemas de saúde pública, é fundamental a adoção de medidas precisas da pressão arterial (SILVA *et al.*, 2013).

Ademais, estudos evidenciaram que, para fins de avaliação de risco total, cardíaco e encefálico, as pressões obtidas pela MAPA apresentam melhor correlação com prognóstico destes riscos do que as medidas casuais (HANSEN *et al.*, 2007).

Desse modo, a monitorização da pressão arterial, do pulso e da frequência cardíaca fornece dados importantes para avaliar o funcionamento do sistema cardiovascular, visto que podem sinalizar eventuais alterações hemodinâmicas no paciente (BARROS, 2016).

É importante salientar que, de um modo geral, os parâmetros hemodinâmicos apresentam variações de tipo circadiano, ou seja, durante o sono verifica-se uma redução significativa da pressão arterial, frequência cardíaca, débito cardíaco, dentre outras alterações dos parâmetros fisiológicos, o que denota a importância de uma monitorização contínua (SILVA; NOBRE, 1993).

No que se refere à respiração, esta ocorre em duas etapas: uma inspiratória e outra expiratória. Durante a inspiração, o volume do pulmão é aumentado por meio da expansibilidade torácica e, conseqüentemente, a pressão interna diminui em relação ao ambiente, quando acontecem as trocas gasosas com o sangue. Na expiração, o volume pulmonar diminui e, por conseguinte, há um aumento da pressão e, com isso, a saída dos gases para o ambiente (ABREU, 2015).

A avaliação da respiração inclui a frequência respiratória (movimentos respiratórios por minuto - mrpm), a profundidade dos movimentos respiratórios (superficial e profunda) e o ritmo (regular e irregular). Preferencialmente, esta avaliação deve ser realizada enquanto executa a palpação do pulso radial, para evitar que o paciente interfira no controle da respiração.

O parâmetro normal da frequência respiratória em adultos é de 12 a 20 mrpm, podendo variar de acordo com a idade, uso de medicamentos, estado emocional, dentre outros fatores (JARVIS, 2012).

Na prática clínica, comumente a frequência respiratória (FR) é obtida por meio da técnica manual que consiste em manter a mão do examinador sobre o diafragma do paciente e

contar o número de inspirações durante o último minuto do registro da linha de base inicial dos sinais vitais (DANTAS, 2008).

Diante dessas considerações, pode-se afirmar que o monitoramento dos sinais vitais fornece informações imprescindíveis para uma correta avaliação do estado de saúde do paciente, possibilitando evidências do funcionamento e das alterações das funções corporais, sobretudo naqueles pacientes que requerem cuidados críticos.

De modo geral, a mensuração dos sinais vitais se dá pela coleta *in loco*, por meio de técnicas invasivas e não-invasivas, o que requer do profissional de saúde presteza no momento em que realiza o levantamento das necessidades de saúde de pacientes (CONSENSO BRASILEIRO DE MONITORIZAÇÃO E SUPORTE HEMODINÂMICO, 2006).

Com vistas a notificar a ocorrência de anormalidades em tempo hábil pelos profissionais de saúde e, com isso, possibilitar tomadas de decisões mais adequadas, considera-se relevante o desenvolvimento de mecanismos eficientes para monitoramento de pacientes (ARAÚJO *et al.*, 2012).

2.2 Protocolos de comunicação industrial

Uma rede destinada ao controle industrial compreende de um sistema que se caracteriza por equipamentos conectados a equipamentos mecânicos e interconectados por uma rede com fios, capazes de monitorar e gerenciar esses equipamentos mecânicos. No século 20 (anos 80) surgiu a pirâmide da automação (figura 2.3) com a finalidade de classificar os níveis de equipamentos utilizados na tecnologia de comunicação e de acordo com a finalidade industrial (MORAES; CASTRUCCI, 2001; BOSCH, 1991).

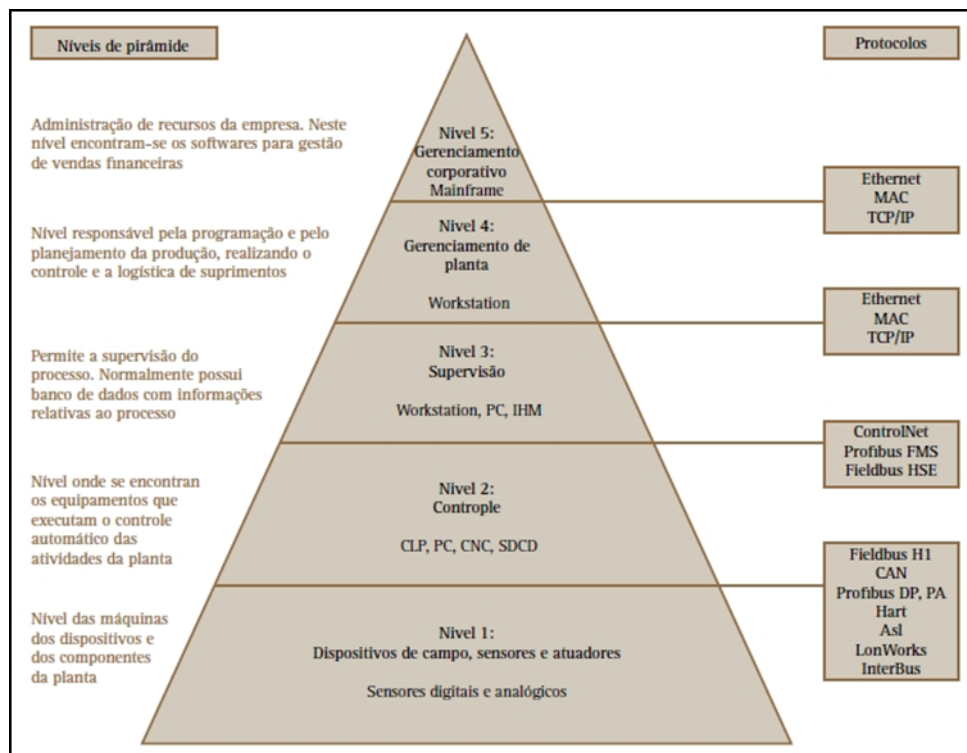


Figura 2.3 - Pirâmide da automação

Fonte: Engenharia da Automação Industrial (MORAIS e CASTRUCCI, 2001)

A pirâmide também demonstra que, no período de sua criação, existia uma descontinuidade de comunicação entre as atividades de nível 1 e 2 com as de nível 4 e 5, além a tendência dos padrões ethernet para as atividades de rede industrial nos níveis mais altos (GALLOWAY; HANCKE, 2013). Desta forma, as informações de produção dos níveis 1 e 2 eram explanados aos níveis de gestão por relatórios.

A ilustração demonstra, ainda, os protocolos que são utilizados no gerenciamento de dispositivos de campo, atuadores e sensores (digitais e analógicos), e dos níveis de controladores e atuadores, os quais se encontram os protocolos do estudo em questão (CAN e ModBus). É importante observar a possibilidade de integração entre os níveis 1 e 2 para a troca de dados, feita diretamente pelas portas de entrada/saída dos controladores.

Nos capítulos a seguir serão discutidos aspectos das camadas relevantes para a caracterização dos protocolos utilizados nas redes industriais (física, enlace de dados e aplicação) e os requisitos mais importantes na escolha de uma tecnologia adequada (topologia, protocolos orientados por nodos, protocolos orientados por mensagens, controle de acesso ao meio e modelo de comunicação de dados) às atividades das redes em questão (ETSCHBERGER, 2001).

2.2.1 Topologia

Uma rede de comunicação é entendida na sua forma de se organizar em termos de descrição da estrutura, categorizadas em topologias física e lógica. A primeira categoria descreve claramente o arranjo físico, representando as redes conectadas e as tecnologias envolvidas (equipamentos, meios de transmissão, entre outros).

A segunda categoria trata a descrição lógica onde são importantes a formação do fluxo de dados, ou seja, a maneira como os sinais devem se comportar no meio de transmissão e nos equipamentos de transmissão e recepção de dados, além das funções de controle de acesso ao meio, métodos e normas padrão (protocolos).

Dentre as topologias mais utilizadas (barramento, anel, árvore e estrela – figura 2.4), a topologia a que se aplica o estudo em questão trata de um barramento simples para os protocolos apresentados na seção 2.3 e 2.4 deste capítulo.

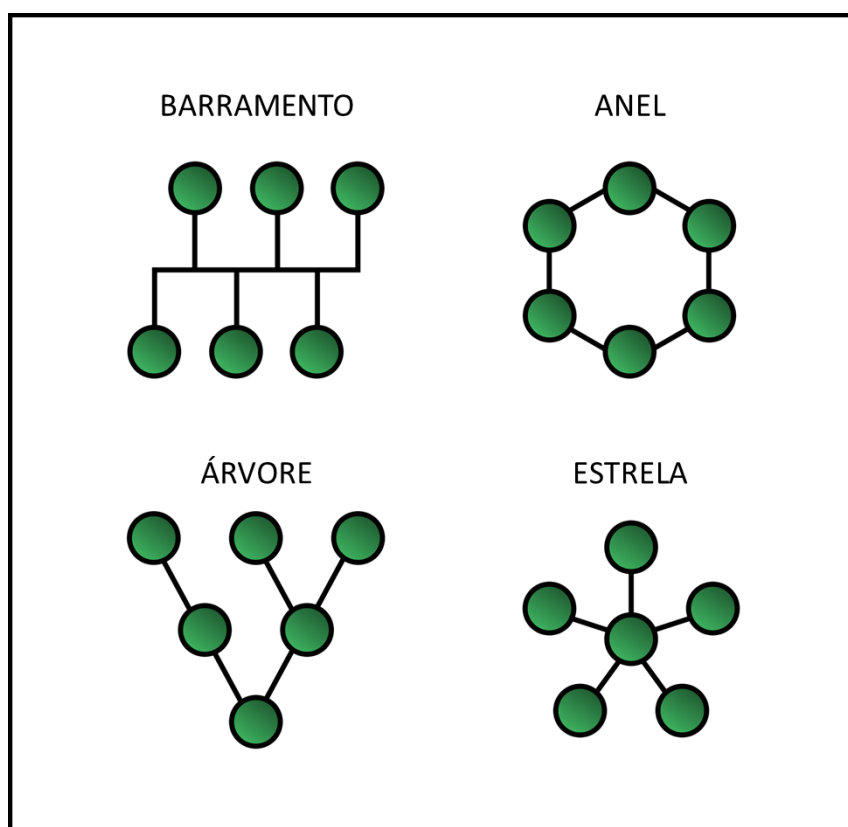


Figura 2.4 – Topologias de rede
Fonte: Própria do autor, 2016.

Essa definição de topologia lógica é baseada pela troca de dados entre nodos na rede de comunicação. Estão subdivididas em protocolos orientados por nodos e protocolos orientados por mensagens.

2.2.2 Protocolos orientados por nodos

De modo geral, conhecer a orientação do protocolo de rede requer atenção ao modo como o frame de dados é transmitido sob o meio de transmissão.

Os protocolos orientados por nodos estabelecem a orientação baseada no endereçamento de cada nodo, possibilitando, desta forma, que um nodo envie um frame de dados (JADHAV; MALI, 2011) para outro nodo específico ou a um grupo de nodos.

Dentre os protocolos que se conhecidos com a finalidade aplicada às redes industriais, o protocolo ModBUS (ETSCHBERGER, 2001) realiza a transmissão orientada por nodos.

A seguir, um esquema de envio de mensagem sob a orientação baseada em endereçamento de nodo (figura 2.5):

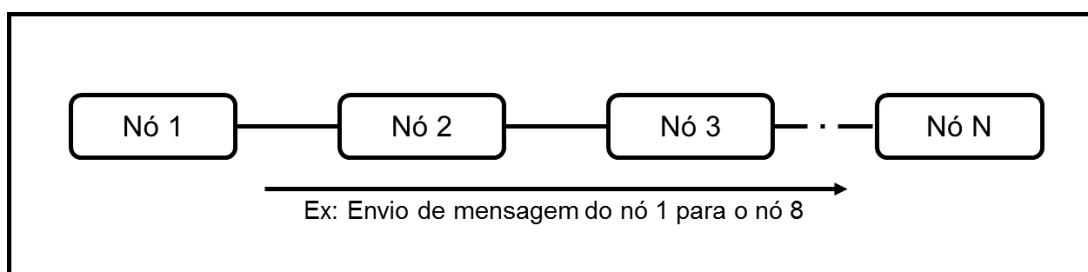


Figura 2.5 - Comunicação de dados orientado por nodo.

Fonte: Etschberger, 2001.

2.2.3 Protocolos orientados por mensagem

Diferente dos protocolos orientados por nodos, nos protocolos orientados por mensagem, o envio de dados é baseado no próprio quadro ou identificador da mensagem.

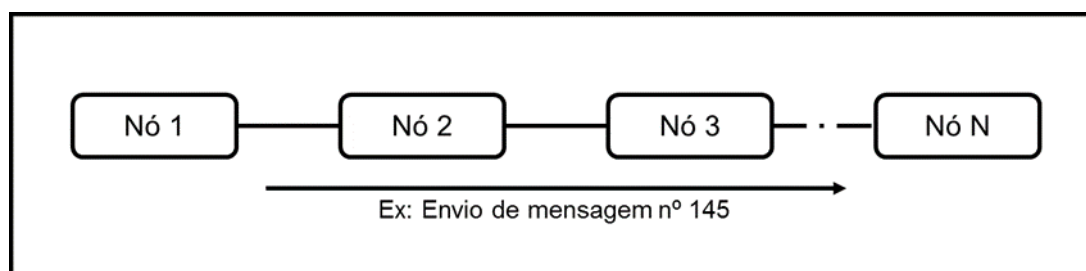


Figura 2.6 - Comunicação de dados orientado por mensagem.

Fonte: ModBUS-IDA, 2004.

Ao se transmitir dados nesse tipo de protocolo (figura 2.6), as mensagens enviadas são entendidas por identificador específico, onde os nodos constituintes do barramento irão decidir recepcionar ou não a mensagem. Desta forma, as mensagens unicamente identificadas podem ser aceitas por um ou mais nodos ou rejeitadas por todos os nodos do barramento.

2.2.4 Controle de acesso ao meio

Uma das características básicas de um protocolo que define a forma de transmissão e que evite a colisão dos dados originados de nodos diferentes, refere-se ao controle de acesso ao meio (do inglês: *Media Access Control* - MAC). A arbitragem necessária que irá caracterizar esse tipo de atividade no barramento, são definidoras para a escolha do protocolo a ser utilizado. Dentre os diferentes tipos de MAC, para as redes industriais e, caracterizados neste estudo, destacam-se os tipos *Carrier-Sense Multiple Access* (CSMA) definido no protocolo CAN (seção 2.4), e “mestre-escravo” definido no protocolo ModBus (seção 2.5).

De maneira a entender como o modelo de comunicação pode ser definido, a figura 2.7 exhibe etapas a seguir com um conjunto de requisitos necessários para a definição de uma aplicação com os possíveis serviços de rede necessários.

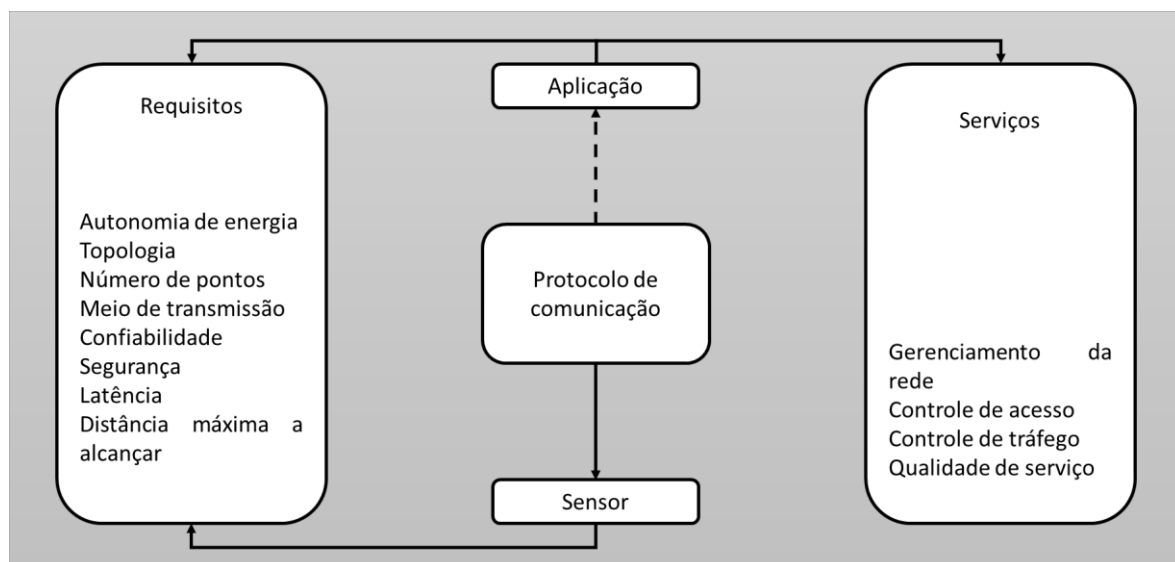


Figura 2.7 – Definição de protocolos a partir dos requisitos e serviços da aplicação
Fonte: Própria do autor, 2016.

Assim, a escolha do modelo de comunicação de dados dependerá de decisões relacionadas ao projeto de aplicação de rede de comunicação quanto aos aspectos de comunicação apresentados anteriormente. No quadro 2.2 pode-se observar alguns protocolos industriais e suas características que podem definir a escolha do projeto de comunicação de dados de uma determinada organização.

Quadro 2.2 – Comparação de propriedades de protocolos

Protocolo	Velocidade	Princípio de acesso	Camada OSI	Origem
Ethernet + TCP/IP	10 Mbps	CSMA/CD	1 à 7	Todos
MODBUS+		Token	1,2,7	Modicon
UCA 2.0	10 Mbps	CSMA/CD	1 à 7	GE
CANOpen	1,2 Mbps	CSMA/CD	1 e 2	Bosch
PROFIBUS	1,2 Mbps	Token	1,2,7	Siemens
DNP 3.0	19,2 Kbps	Requisição cíclica	1,2,7	GE-Harris
IEC 60870-5	19,2 Kbps	Requisição cíclica	1,2,7	Todos
ModBUS	19,2 Kbps	Requisição cíclica	1,2,7	Modicon
SpaBUS	19,2 Kbps	Requisição cíclica	1,2,7	ABB
MVB	1,5 Mbps	TDM	1,2,7	ABB
FIP	2,5 Mbps	TDM	1,2,7	Merlin-Gerin
LON	1,25 Mbps	PCSMA/CD	1 à 7	ABB

Fonte: Própria do autor, 2016.

2.3 Modelo de comunicação de dados

Um modelo de comunicação de dados tem a finalidade de responder, principalmente, as questões inerentes à relação entre os componentes de uma rede de comunicação, os quais se destacam os modelos produtor/consumidor e cliente/servidor.

A relação de comunicação de dados de um modelo produtor/consumidor expressa-se sempre pela comunicação multiponto (figura 2.8). São geralmente caracterizadas nas redes que utilizam protocolos CAN.

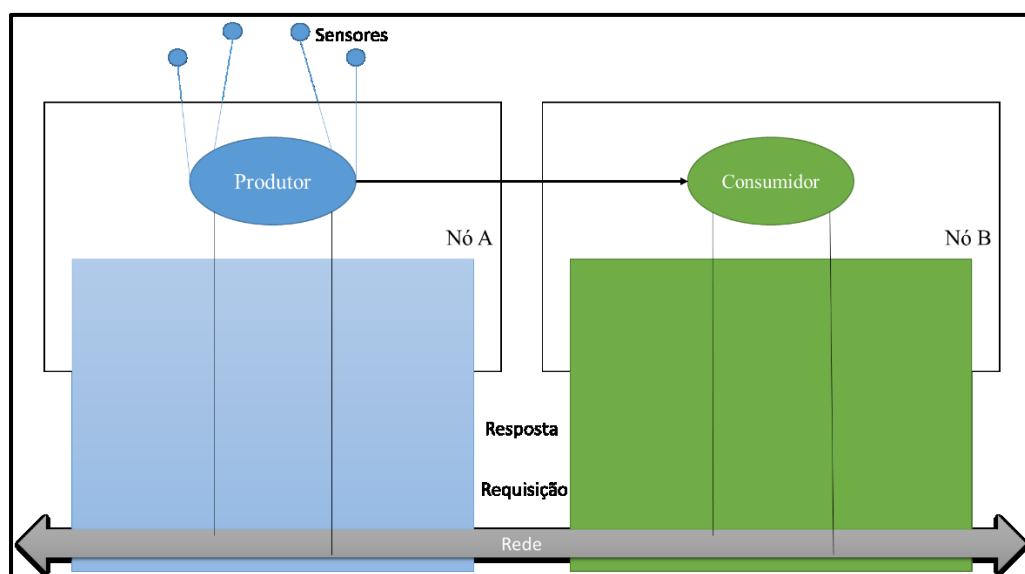


Figura 2.8 – Suporte de comunicação Produtor/Consumidor

Fonte: própria do autor, 2016.

Já a relação de comunicação de dados de um modelo Cliente/Servidor expressa-se pela comunicação ponto-a-ponto (figura 2.9), em que são geralmente caracterizadas as redes de padrão para comunicação com dispositivos diferentes (*OLE for Process Control - OPC*), as quais se apresentam os protocolos ModBUS.

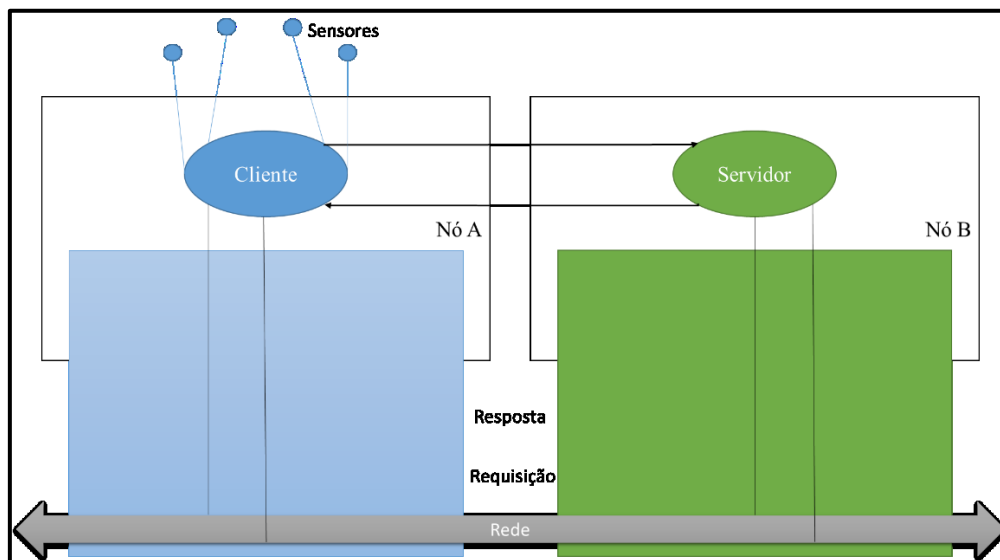


Figura 2.9 – Suporte de comunicação Cliente/Servidor

Fonte: Própria do autor, 2016.

2.4 Protocolo CAN

Anunciado oficialmente em 1986 pela multinacional BOSCH na Alemanha, o protocolo CAN foi inicialmente utilizado nas unidades de comunicação e controle eletrônico automotivo na produção de carros da Mercedes, ampliando o seu desenvolvimento em 1987, quando se caracterizaram os primeiros circuitos integrados da Intel e Philips para rede CAN.

A rede utilizando o protocolo CAN é definida por um barramento serial onde são interligados dispositivos (nodos sensores) para estabelecer a comunicação da rede. Por esse motivo essa tecnologia logo foi absorvida para resolver problemas nas aplicações industriais. São redes tolerantes a interferências eletromagnéticas e possui facilidades desejadas como recuperação de falhas, prioridade de mensagens, entre outros (LIVANI; KAISER; JIA, 1999).

A capacidade de uma rede CAN é determinada pela escolha do modelo a utilizar, podendo interligar aproximadamente 2000 dispositivos, sendo cada um, tratado como um nodo sensor na rede. Foi padronizado mundialmente em 1993 na norma ISO 11898 e ISO 11519, que tratam as aplicações de alta e baixa velocidades, respectivamente, de acordo com a *International Organization for Standardization (ISO)*, na qual, baseada no modelo OSI/ISO, o protocolo CAN especifica apenas as camadas física e de enlace.

O protocolo CAN possibilita características como o tempo de latência garantidos, consistência dos dados, prioridade de mensagens (de acordo com o estado dominante ou recessivo do nodo sensor), flexibilidade de configuração, detecção e sinalização de erro e modo multimestre.

Apesar das diversas variantes do protocolo CAN, três tipos de CAN se destacam, quais sejam: CAN de baixa-velocidade, CAN 2.0A e CAN 2.0B.

De acordo com Bosch (1991), as especificações do protocolo CAN na referência OSI/ISO, classificam as camadas do protocolo em:

2.4.1 Atividades da camada de enlace

Destinada por preparar a mensagem ao meio físico, essa camada é responsável, ainda, pelas atividades a seguir:

- Encapsulamento/desencapsulamento de dados;
- Codificação de quadros (bit stuffing);
- Controle de acesso ao meio;
- Detecção e sinalização de erros;
- Filtragem de mensagens;
- Confinamento de falhas;
- Notificação de sobrecargas; e,
- Controle de recuperação.

2.4.2 Atividades da camada física

Responsável por realizar a codificação e decodificação dos bits, temporização e sincronização do sinal. Juntamente com a camada de enlace, a camada física é responsável pelo confinamento de falhas (um nodo sensor que esteja apresentando muitos erros de transmissão ou recepção de mensagens, poderá ser desligado da rede), além de tratar as falhas provenientes do barramento.

O protocolo CAN permite a construção de cabeamento utilizando-se fios, podendo interligar os nodos da rede de comunicação a um, dois ou quatro fios. Quando a escolha se faz a dois ou à quatro fios, os pares de fios devem ser trançados e não blindados, assim como recomendam as normas que estabelecem o uso desse tipo de cabeamento.

A representação dos dados no protocolo CAN é feita nos níveis de *bit* 0 e 1. Essa representação de bits em nível 0 e 1, sustenta a representação de bits dominantes e recessivos em virtude da existência de diferença de potencial que define a CAN_H e a CAN_L.

2.4.3 Formato das mensagens

O protocolo de barramento CAN utiliza a comunicação assíncrona, A informação é transmitida do nodo transmissor ao nodo receptor em quadro de dados, onde são compostos os campos de *bytes* que definem o conteúdo dos quadros de dados (figura 2.10).

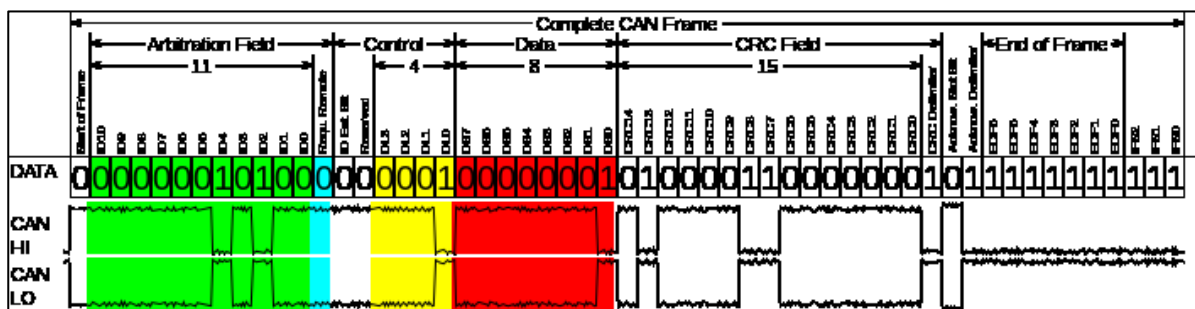


Figura 2.10 - Quadro de mensagens do protocolo CAN

Fonte: Bosch, 1991.

Dentre as inúmeras vantagens do protocolo, a robutez e a capacidade de se adaptar às condições de falha são as que mais representam o referido protocolo CAN. Essas falhas podem ser classificadas em três categorias, a seguir:

- Nível de *bit* – o nodo emissor é capaz de detectar erros de bits tendo como base a monitoração dos sinais do barramento CAN. Dessa forma, todos os nodos que irão transmitir, se habilitam a monitorar o barramento. Se define por dois tipos de erro: o *bit monitoring* e o *bit stuffing*.
- Nível de mensagem – no esquema de detecção de erro no barramento CAN a nível de mensagem, são possíveis três tipos de erro a saber: *Cyclic Redundance Check* (CRC), o *Frame Check* e o *Acknowledgment Error Check*. O CRC funciona como um checksum. O nodo transmissor se baseia nos bits da mensagem para calcular um valor que é transmitido junto com a mensagem. Os nodos receptores recalculam o CRC e verificam se este último é igual ao transmitido. No *Frame Check*, o conteúdo de alguns *bits* da mensagem transmitida é lido pelos nodos receptores. O protocolo CAN determina quais serão os *bits* e os mesmos não mudam de mensagem para mensagem. Já no *Acknowledgment Error Check*, o recurso de detecção de erro usa um método por colaboração de todos os nodos receptores, respondendo a cada mensagem na íntegra, adicionando um bit dominante no campo ACK de uma mensagem em resposta ao nodo transmissor. A mensagem de dados é considerada corrompida caso a mensagem resposta não tenha sido recebida.

2.4.4 Aplicações

De acordo com as características de utilização do protocolo CAN apresentadas em seções anteriores, sua aplicação é adequada para as situações onde existam fatores de grande influência do ambiente em termos de interferência de sinal, necessidade de envio de informação em tempo real ou, ainda, que necessitem de prioridade na transmissão dos dados.

No quadro 2.3 são apresentadas algumas aplicações que utilizam diversos padrões CAN de acordo com as características desses ambientes.

Quadro 2.3 - Aplicações que utilizam protocolo CAN

Área de aplicação	Padrão/Nomenclatura	Descrição
Agrícola	ISO 11783/ISOBUS	Padrão para interligação de equipamentos agrícolas (MOLIN <i>et al.</i> , 2005).
Aeroespacial	CANaerospace	Criado pela Stock Flight System, foi padronizado posteriormente pela NASA, tendo como finalidade atuar como espinha dorsal para sensores e atuadores, bloco de navegação e como gateway entre a internet e o sistema de controle de voo (Stock Flight Systems, 2006).
Comercial	CANopen	Aplicadas na automação de prédios para controle de porta e portões, iluminação, detecção de incêndio, controle de elevadores, entre outros.
Industrial	DeviceNet	Adequada para ambientes que promovem a utilização de equipamentos de alta potência e grande quantidade de motores elétricos e que caracterizam interferência eletromagnética.
Médicas/Hospitais	CANopen	Utilizada em ambientes que promovem serviços de saúde como suporte à vida, controle de equipamentos de cirurgia, raios-X, tomografia e controle de equipamentos de laboratório. Especificada pelo esforço de três grandes organizações (GE Medical Systems, Siemens Medical e Philips Medical), organização denominada CiA (ZELTWANGER, 2002).

Fonte: Própria do autor (2016)

Numa proposta semelhante ao contexto do trabalho em questão, Waters et al (2007) apresentaram uma solução de dispositivos de leitura de pressão arterial invasiva, onde sugere a padronização da utilização desses dispositivos (nodos sensores) em rede de comunicação CAN próximo ao leito do paciente. A solução foi desenvolvida na camada de Aplicação (CANopen) e o estudo de caso demonstrou os benefícios da comunicação entre dispositivos médicos diferentes.

Não há, porém, uma tecnologia que solucione todos os problemas relacionados à comunicação de dados e interferências ao meio de transmissão. Basicamente, a taxa de atualização de dados, o tamanho da rede, números de nodos sensores atuando na rede, a aplicação e o método de segurança aplicada na rede definirão a escolha por determinada tecnologia de barramento CAN, tendo como adaptação à solução empregada o uso de mais de uma tecnologia para suprir as tendências dos requisitos exigidos para equilibrar critérios de custo, segurança e velocidade (PARNELL, 2004).

2.5 Protocolo ModBus

Protocolo de comunicação destinada às aplicações industriais, o ModBus foi a tentativa da Modicon (desenvolvido em 1979), um protocolo nesse ramo de atividade para integrar seus controladores lógicos programáveis (do inglês, Programmable Logic Controller - PLC).

Foi originalmente implementado como um protocolo de nível de aplicação destinado a transferir dados por uma camada serial. É um protocolo de requisição-resposta que utiliza um modelo de comunicação de dados mestre-escravo (figura 2.11). Nesse método de comunicação, somente o nodo mestre inicia a comunicação.

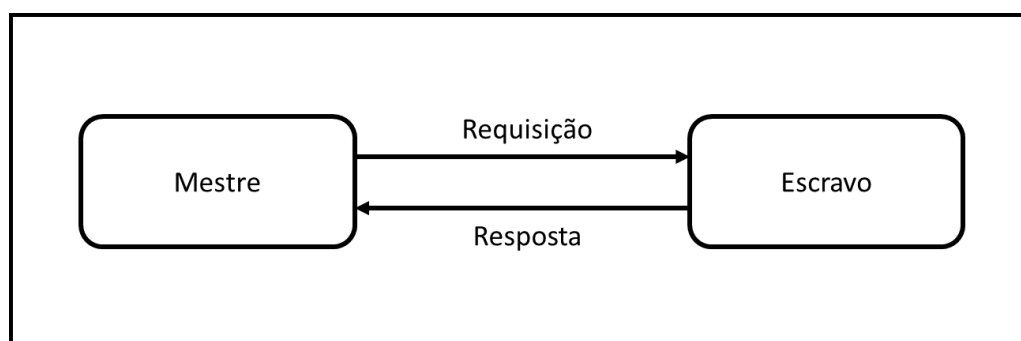


Figura 2.11 - Comunicação mestre-escravo.

Fonte: Própria do autor, 2016.

Tipicamente um protocolo de aplicação de mensagens, o ModBUS permite a comunicação no modelo Cliente/Servidor, permitindo se adequar a diferentes topologias. Em

sistemas de processamento de sinais, geralmente, o nodo mestre é um dispositivo com interface homem-computador (IHC) ou um sistema supervisorio de controle e aquisição de dados (SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*) e o nodo escravo é um controlador programável para automação (CPA).

2.5.1 Camadas do protocolo ModBus

Concebido, inicialmente, no topo da camada serial, o protocolo Modbus foi modificado para incluir implementações de outras unidades de dados para permitir o uso da comunicação TCP/IP e UDP. Essas modificações resultaram na divisão da base do protocolo, na qual se estabelece a unidade de dados de protocolo (PDU – *Protocol Data Unit*) e a camada que define a unidade de dados de aplicação (ADU – *Application Data Unit*).

O ModBUS é um protocolo mensagens, originalmente, representado na sétima camada do modelo de referência *Open System Interconnection* (OSI), para o provimento da comunicação mestre/escravo entre dispositivos interconectados a diferentes tipos de barramentos (quadro 2.4). A possibilidade de interagir com os diferentes padrões de comunicação (TCP, RS232 e RS485) garante a comunicação no padrão Ethernet e, ainda, acesso à Internet (MODBUS-IDA, 2004).

Quadro 2.4 – Níveis do padrão OSI contemplados pelo ModBUS

	Modelo OSI
ModBUS	Aplicação
-	Apresentação
-	Sessão
-	Transporte
-	Rede
ModBUS	Enlace de dados
EIA/TIA 232 – EIA/TIA 485	Física

Fonte: adaptado de MODBUS-IDA (2004).

O acesso aos dados no protocolo ModBUS é feito baseado em seu modelo nativo, o qual adota quatro faixas de endereço. São blocos conceituais que podem assumir endereços distintos de memória. Esses endereçamentos são definidos pelo nodo escravo, conforme quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Blocos do modelo de dados do Modbus

Bloco de memória	Tipo de dados	Acesso ao mestre	Acesso ao escravo
Coils	Booleano	Leitura/escrita	Leitura/escrita
Entradas discretas	Booleano	Somente leitura	Leitura/escrita
Registradores holding	Palavra não sinalizada	Leitura/escrita	Leitura/escrita
Registradores de entrada	Palavra não sinalizada	Somente leitura	Leitura/escrita

Fonte: adaptado de MODBUS-IDA (2004).

Já os dispositivos mestres, para que os mesmos possam ter acesso dados, devem fazê-lo enviando uma solicitação de acesso aos dispositivos escravos, utilizando códigos de função.

2.5.2 Códigos de função padrão

A especificação do protocolo ModBUS define cada código de função padrão. Ainda que os códigos padrão sejam bastante utilizados, é muito comum proposta de modificação desassociando as funções representadas para o dispositivo mestre dos códigos de funções que são tratadas pelo dispositivo escravo.

No quadro 2.6 são exibidos códigos de função em conformidade com a especificação ModBUS:

Quadro 2.6 – Códigos de função de especificação ModBUS

Classe	Código	Função
0 - Considerados a base para funcionamento de uma rede serial utilizando o ModBUS	3	<i>Read Multiple Registers</i>
	16	<i>Write Multiple Registers</i>
1 - Representam de forma ampla os códigos de função permitindo acessar todos os tipos de modelo de dados	1	<i>Read Coils</i>
	2	<i>Read Discrete Inputs</i>
	4	<i>Read Input Registers</i>
	5	<i>Write Single Coil</i>
	6	<i>Write Single Register</i>
	7	<i>Read Exception Status</i> (somente serial)
2 - Funções mais especializadas do código padrão. Em virtude dessa característica, essa classe é implementada com pouca frequência	15	<i>Write Multiple Coils</i>
	20	<i>Read File Record</i>
	21	<i>Write File Record</i>
	22	<i>Mask Write Register</i>
	23	<i>Read/Write Multiple Registers</i>
	24	<i>Read FIFO</i>

Fonte: Própria do autor (2016).

De modo geral, cada função exerce papel fundamental para a realização dos projetos com protocolo ModBUS. Todas tratam a forma como os dados devem ser acessados, definindo inclusive, o modelo de dados de um sistema com essa definição de topologia. Ainda, funções como a 43 (código de função encapsulada do ModBUS - MEI) resolvem a integração com dados de outros, encapsulando-os em um pacote ModBUS.

Para a adaptação do modelo de dados ao projeto desta dissertação, foram adotados os campos de “Registradores de entrada” para a leitura dos dados dos sensores e de “Registradores Holding” para armazenamento temporário dos dados capturados.

A ADU adotada para este estudo foi o formato RTU (unidade de terminal remoto) por se definir de forma simplificada para tornar mais flexível a forma de envio dos dados no barramento. Esse formato de dados permite que endereços sejam utilizados para iniciar diálogos entre o dispositivo mestre e escravos. De modo geral, o campo endereço identifica diretamente a qual dispositivo escravo está destinada a mensagem. Nas situações em que o valor do campo mensagem é igual a zero, todos os escravos devem processar a requisição do mestre não necessitando respondê-la, também conhecido como endereço de difusão.

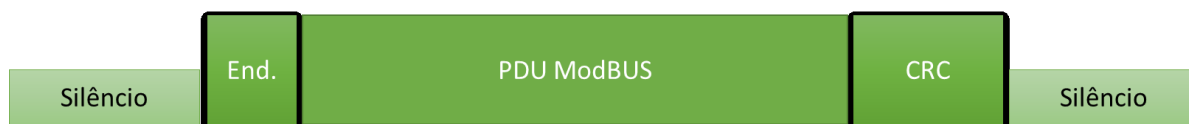


Figura 2.12 – ADU do protocolo ModBUS.

Fonte: Adaptado de MODBUS-IDA, 2004.

Ainda, para as implementações mais modernas do protocolo, são adotados períodos sem comunicação no barramento. Dependendo a aplicação do protocolo ModBUS, esse tempo de aguarde na comunicação pode afetar sistemas em que as taxas de transmissão são altas nos dispositivos de coleta de dados. Para sistemas com feixes de dados em grandes quantidades isso pode invalidar o processo de validação dado em virtude do padrão adotado, no qual, após o período de silêncio o protocolo entende o próximo envio como uma nova comunicação, desprezando dados de sistemas que necessitam desmembrar o feixe de dados, descartando-os como se fossem erros.

REVISÃO SISTEMÁTICA

Nos últimos anos, são evidentes os experimentos que usam tecnologia para aquisição de dados em áreas assistência de saúde nos hospitais, experimentos estes observados, ainda, por uma significativa ascensão no desempenho das atividades desses profissionais da área de saúde hospitalar em virtude do uso de tecnologias que auxiliem em tempo real as suas decisões (ZHU; ZHU; SU, 2010; ISHAQUE *et al.*, 2012).

Não obstante a aquisição de dados de sinais vitais, observa-se também que é possível efetuar a transferência desses sinais biológicos por meio da utilização de redes de barramento CAN (Controller Area Network) para sistemas que armazenem os dados e aplicações que possam explorá-los (ISHAQUE *et al.*, 2011).

Essa alternativa de aquisição de dados merece destaque quando se observa que a motivação engloba os aspectos da integridade e entrega das informações, especialmente por apresentar soluções que minimizam a necessidade de investimentos com alto custo, como também promovem comunicação de alta performance (AZMI *et al.*, 2011).

Nesse sentido, com a finalidade de sintetizar estudos realizados na temática de sistemas (hardware/software) para aquisição de sinais vitais de pacientes em ambiente hospitalar, e, ao mesmo tempo, verificar que métodos ou técnicas estão presentes nessas metodologias de investigação da literatura e podem ser adaptados ou reconstruídos nesse contexto, no presente estudo, serão apresentados aspectos introdutórios seguidos de aspectos metodológicos, execução da pesquisa, resultados e discussões e conclusão.

3.1 Metodologia

Para alcançar um grau de rigor científico, procurou-se assegurar o processo de investigação a partir das concepções de Kitchenham (2004) sobre revisão sistemática de literatura (RSL) conforme descreve-se a seguir.

A revisão sistemática de literatura, conforme afirma Kitchenham (2004), identifica, avalia e interpreta todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão específica, área temática, ou fenômeno de interesse.

Segundo o autor, a importância do estabelecimento de um processo de revisão sistemática se concretiza ao observa-se a definição de fases, quais sejam: a) Planejamento da revisão; b) Procedimentos de condução e extração da RS e, ao final, c) Procedimentos de elaboração de relatórios da RS.

Dessa forma, os resultados são mais confiáveis em relação à revisão de literatura primária, em virtude de sua forma rigorosa e que dá possibilidade de repetições e auditoria.

Assim, a RS teve o seu foco na caracterização dos processos de desenvolvimento de solução para aquisição de dados de sinais vitais de pacientes, e que utilizam protocolos CAN ou ModBus para o envio desses dados.

Durante a fase de planejamento da RS define-se primeiramente um protocolo, no qual constam o problema de pesquisa, de forma a delimitar a natureza essencial e a eficiência de determinadas práticas ou métodos no domínio em pauta, bem como aspectos como fontes de pesquisa, Strings de busca utilizadas (sequência ou combinação de palavras-chaves para a pesquisa), critérios de inclusão e exclusão de trabalhos encontrados na literatura e forma de sumarização dos resultados.

Na fase de condução da RS executa-se a formalização de um processo de pesquisa conforme o protocolo estabelecido. Nessa etapa, de forma sumarizada, devem ser listados todos os trabalhos encontrados na literatura e aplicados os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo. O resultado final é uma lista de artigos que devem ser incluídos na fase seguinte.

Inicia-se então a fase de extração que consiste em um detalhamento das informações por meio da extração de variáveis e anotações específicas de referências que podem agregar valor ou alterar os rumos do processo de pesquisa desenvolvido até então. Ao final, desenvolve-se um relatório incluindo-se todas as etapas do processo de RS, conclusões e resultados encontrados.

Para desenvolvimento do processo de RS foi utilizado uma ferramenta eletrônica denominada StArt - *State of the Art through Systematic Review* (2015), que tem como objetivo dar suporte ao pesquisador apoiando a aplicação dessa técnica conforme se descreve nas etapas a seguir.

3.2 Planejamento da revisão sistemática

Para planejamento da revisão formulou-se inicialmente um protocolo de RS, no qual se delineou os objetivos, questões da pesquisa e fontes de buscas no Portal de Periódicos da CAPES (ACM, IEEE, Science Direct, Springer e SCOPUS), além de referências acadêmicas presentes no Google Scholar para iniciar a atividade de construção do protocolo de revisão (Apêndice I).

Como questão de pesquisa, definiu-se para o processo investigatório em questão um estudo sobre duas dimensões: a) Questão primária: Em que áreas as redes seriais têm sido aplicadas? e b) Questão secundária: Quais as características dos nodos sensores utilizados na captura de sinais vitais?

Para responder essas duas dimensões, consolidaram-se termos de buscas formuladas em inglês, em dois segmentos de pesquisa com a definição das seguintes palavras-chaves: Pesquisa I (“*Controller Area Network*”) e Pesquisa II (“*Vital Sign Sensor*” ou “*Wearable Computer for Health*” ou “*Sensor node for health*” ou “*Human Vital Sign*” ou “*Data Aggregation*”).

A justificativa de segmentos de palavras-chave em dois procedimentos de recuperação de informação é feita considerando-se a necessidade de avaliar as informações presentes no campo das especificações de rede seriais (CAN e ModBus) e de nodos sensores para aquisição de sinais vitais, e de forma mais abrangente não excluindo as contribuições de outras tecnologias de comunicação de dados.

Nesse sentido, foram delineados dois procedimentos de pesquisa e, após avaliação interseccionou-se as fontes encontradas da pesquisa I e II e na qual os trabalhos recuperados em redundância foram preservados e isolados para fins estatísticos.

Para a execução dos procedimentos de busca, definiu-se strings para as fontes de busca escolhidas, conforme apresenta-se a seguir:

SCOPUS:

TITLE-ABS-KEY (("Wired Network" OR "CAN Bus" OR "Controller Area Network" OR "Modicon Communication Bus" OR "Modbus") AND ("Sensor Node" OR "Human Vital Sign" OR "Wearable Computing for Health") AND ("CAN Bus" OR "Modbus"))

Ano de publicação: 2006 - 2016

IEEE

((("Document Title":"Wired Network" OR "Document Title":"CAN Bus" OR "Document Title":"Controller Area Network" AND "Publication Title":Canopen OR "Publication Title":DeviceNet) OR (p_Title:"Wired Network" OR "Document Title":"Modicon Communication Bus" OR "Document Title":"Modbus" AND "Publication Title":Modbus OR "Publication Title":Isobus)) AND "Abstract":"Sensor Node" OR "Abstract":"Human Vital Sign" OR "Abstract":"Wearable Computing for Health"))

Ano de publicação: 2006 - 2016

ACM

Pesquisa I:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "controller area network"

Pesquisa II:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "CANopen"

Pesquisa III:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "DeviceNet"

Pesquisa IV:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "Isobus"

Pesquisa V:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "Modbus"

Pesquisa VI:

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign") OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "modicon communication bus"

Ano de publicação: 2006 - 2016

SPRINGER

((("Wired Network" OR "CAN Bus" OR "Controller Area Network" OR "Modicon Communication Bus" OR "Modbus") AND ("Sensor Node" OR "Human Vital Sign" OR "Wearable Computing for Health")) AND ("CAN Bus" OR "Modbus"))

Ano de publicação: 2006 - 2016

SCIENCE DIRECT

TITLE-ABSTR-KEY((Wired Network OR "CAN Bus" OR "Controller Area Network" OR "Modicon Communication Bus" OR "Modbus") AND ("Sensor Node" OR "Human Vital Sign" OR "Wearable Computing for Health")) AND ("CAN Bus" OR "Modbus" OR "Sensor Node" OR "Human Vital Sign" OR "Wearable Computing for Health"))

Ano de publicação: 2006 - 2016

A fim de estabelecer os interesses da pesquisa, o protocolo construído definiu-se os seguintes critérios de seleção de trabalhos: artigos publicados no período de 2006 a 2016; artigos completos disponíveis online; idioma inglês; estudos que abordem áreas de aplicação das redes com fio; e estudos que abordem os tipos de nodos sensores para captura de sinais vitais.

De maneira a observar a relevância dos trabalhos selecionados, foram elaborados critérios de inclusão e exclusão, conforme segue:

Critérios de inclusão: trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de redes com fio; trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de nodos sensores; trabalhos que abordem a questão relacionada à sinais vitais; e, trabalhos publicados em conferências e revistas especializadas.

Critérios de exclusão: trabalhos que não estejam em inglês; trabalhos que não apresentem texto completo; trabalhos onde os termos de busca não se apresentem nos campos: título, resumo e palavras-chave; trabalhos de conclusão de curso; trabalhos de revisão de literatura; e, trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de redes sem fio.

3.3 Execução da pesquisa

Após a etapa de planejamento, o processo de execução da RS foi iniciado. Na execução da RS os trabalhos foram recuperados por meio das strings já delineadas no

protocolo de RS. Utilizando-se da ferramenta StArt, os trabalhos foram importados a partir de cada base de pesquisa em formato apropriado (de modo geral, no formato Bibtex) e armazenados, contendo as informações sobre o trabalho como: autor, título, palavras-chaves, resumo, ano de publicação e referências bibliográficas.

As strings de busca elaboradas no processo de planejamento foram executadas e utilizadas em cada um dos engenhos de busca das fontes selecionadas para um formato de importação compatível com a ferramenta StArt, em estrutura de pastas. Em situação particular, a base ACM necessitou de desmembramento da string inicialmente elaborada, em virtude de erros existentes nesta, subdividindo a busca em 6 etapas, as quais se apresentam a seguir:

Pesquisa 1

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "controller area network"

Pesquisa 2

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "CANopen"

Pesquisa 3

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "DeviceNet"

Pesquisa 4

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "Isobus"

Pesquisa 5

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "Modbus"

Pesquisa 6

("wired network" AND "sensor node") OR ("wired network" AND "human vital sign")
OR ("wired network" AND "Wearable computing for health") OR "modicon communication bus"

Foram identificados 638 artigos (gráfico 3.1), dos quais, em cada base totalizaram: ACM (124 artigos), IEEE (327 artigos), SCIENCE DIRECT (29 artigos), SCOPUS (70 artigos) e SPRINGER (88 artigos).

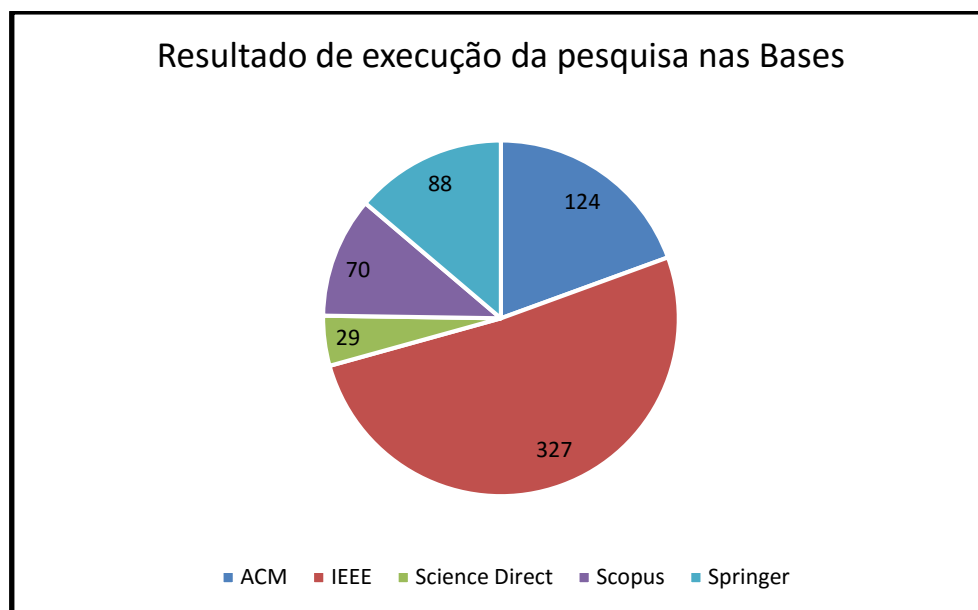


Gráfico 3.1 - Artigos identificados (fase de execução).
Fonte: Própria do autor (2016)

Os artigos foram identificados em um repositório de informações eletrônico para sua avaliação na segunda fase da RS, conforme se descreve a seguir. Observou-se que a grande quantidade de artigos relacionados na base IEEE (327 artigos) se deu em virtude de seu engenho de busca tratar todos os campos da string forma, como palavras para pesquisa em todo o conteúdo dos artigos, o que dificultou o processo inicial de seleção destes artigos na revisão sistemática.

3.4 Procedimentos de seleção e extração

Uma vez que o protocolo de RS foi definido e os artigos foram identificados e armazenados no a etapa de condução passa a ser executada, iniciando-se por uma seleção de informações e encerrando-se com a submissão dos trabalhos para a próxima fase da RS.

Nessa etapa, utilizando-se de um formulário eletrônico os pesquisadores efetuaram a leitura do resumo de cada artigo disponibilizado. Nesse momento, houve o julgamento dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos por meio de um processo de seleção, conforme se observa no Quadrol.

Dos 638 trabalhos relacionados no processo de identificação, 359 trabalhos foram aceitos para ser avaliados na etapa de extração da revisão de literatura, os quais 279 foram excluídos, sendo 117 pelos critérios definidos no protocolo e 102 trabalhos excluídos (gráfico 2) por estar duplicados quando da exportação dos resultados de consultas das bases.

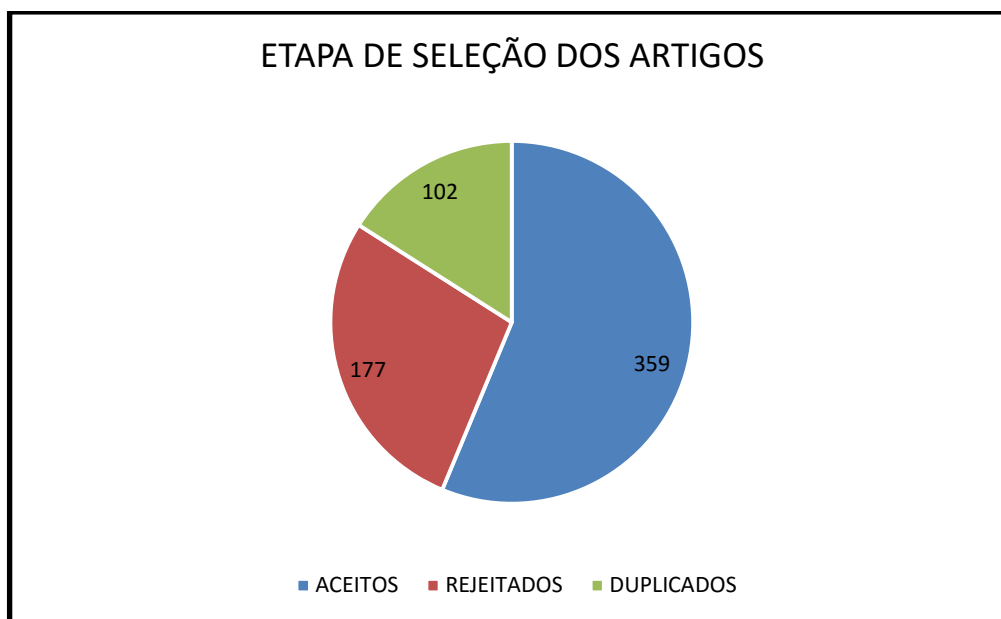


Gráfico 3.2 - Resultado da etapa de seleção dos artigos importados no StArt.
Fonte: Própria do autor (2016)

Na etapa de extração, foram coletadas informações pré-definidas no protocolo de RS como: resumo do trabalho, objetivo do trabalho, resumo do experimento realizado, local do experimento, participantes, material, descrição da metodologia de avaliação, descrição de técnicas ou métodos de avaliação, técnicas de ensino, escopo do trabalho, objetos centrais de avaliação, parâmetros ou métricas de avaliação utilizadas, hipóteses ou questão problema evidenciada, natureza do método ou técnica de avaliação de redes com fio, área de aplicação/domínio, classificação do ambiente, resultados, referências relevantes, observações e trabalhos futuros.

Os 359 trabalhos aceitos por, pelo menos, um critério de seleção e conduzidos à etapa de extração para o processo de leitura completa, onde conclui-se a condução de 9 trabalhos, os quais atenderam os critérios formalizados no protocolo da revisão sistemática. Dos 349 trabalhos excluídos nessa última etapa (extração), 21 foram reconduzidos à leitura e foram incluídos na seção da revisão de literatura, dada a relevância dos assuntos tratados nestes para o estudo em questão. Os 329 trabalhos já excluídos não atenderam a todos os critérios da etapa de análise na extração.

3.5 Resultados da revisão sistemática

Obtidos os resultados da etapa de extração, a revisão sistemática permitiu discutir aspectos específicos de cada trabalho, envolvendo os objetivos, aspectos metodológicos, métodos ou técnicas, parâmetros, padrão de comunicação, agregação de dados para melhor organização do datagrama e ambiente de aplicação.

Os dados foram sumarizados e apresentados nos quadros 3.1 e 3.2 desta seção. No quadro 3.1, os artigos foram analisados quanto ao objetivo da pesquisa, a metodologia empregada para se atingir o objetivo, descrevendo as técnicas e métodos utilizados, como também a representação dos parâmetros.

O quadro 3.2, sob o julgamento metodológico, a análise tornou-se importante para direcionar a solução proposta neste trabalho quanto ao padrão a ser adotado e confirmar a possibilidade de aplicação na área de saúde.

Desta forma, pode-se observar a semelhança com o trabalho em questão. Na seção 3.3 destacaremos aspectos que procuram responder as questões apresentadas no protocolo de revisão sistemática.

Quadro 3.1 – Sumários dos artigos analisados.

(continua)

Artigos – Título/Autores	Objetivo do trabalho	Descrição da metodologia	Descrição de técnicas ou métodos de avaliação	Parâmetros
A CAN bus based system for monitoring and fault diagnosis in wind turbine. M. Mohanraj. and R. Thottungal and K. Jaikumar	Projetar rede com fio utilizando o protocolo CAN para controle e sensoramento de turbinas eólicas através de um sistema de controle e diagnodostico de falhas.	Estudo experimental realizado através da construção de protótipo para a coleta de dados de turbinas eólicas e, posteriormente, analisados e submetidos a métodos de reconhecimento de padrões.	Técnica de detecção multiparamétrica com sensores distribuídos na turbina eólica para observar o comportamento desta em períodos de atividade.	Temperatura, Velocidade de rotação da turbina, vibração e nível do óleo do motor.
A Framework for the interconnection of Controller Area Network based critical of care units. Ishaque, Nadia and Azhar, Noveel and Azmi, Atiya and Umm-e-laila and Urooj, Ayesha.	Implementar um algoritmo de agregação de dados para tornar a comunicação do barramento CAN mais efetivo na transmissão de sinais vitais humanos.	Estudo experimental de modificação do algoritmo de arbitragem do protocolo CAN agregando valor aos dados de sinais vitais, usando o critério de temporização específica.	Técnica de agregação de dados de sinais vitais para temporização na coleta dos dados e indicação de anomalia, utilizando o campo de controle <i>Data Length Code</i> (DLC) que identifica o número de Bytes da mensagem. Simulação do método utilizando o software Verilog Simulator.	Frequência cardíaca, nível de oxigênio na corrente sanguínea, temperatura, pressão arterial e ECG.

Quadro 3.1 – Sumários dos artigos analisados

(continuação)

Artigos – Título/Autores	Objetivo do trabalho	Descrição da metodologia	Descrição de técnicas ou métodos de avaliação	Parâmetros
A hybrid scheduling algorithm of high speed radar tracking system based on CAN bus. Niu Qinsheng and Huhai and Cao Yi and Pu Yuan and Li Pei.	Implementar melhorias no critério de arbitragem do protocolo CAN utilizando o conceito de gerenciamento híbrido.	Estudo de caso experimental pela proposta de modificação do critério de arbitragem para um protocolo híbrido, onde se definem partes estáticas e dinâmicas do do datagrama.	Algoritmos de programação do barramento CAN orientada por prioridade e mudança e adaptação no mecanismo de arbitragem para escalonamento estático e dinâmico.	Mensagens esporádicas, periódicas e não reais.
Distributed remote temperature monitoring and acquisition system based on CAN bus. Q. Zhu and Zhu Dongmei and Su Xunwen.	Construção de uma plataforma de coleta de temperatura utilizando barramento CAN.	Estudo experimental com construção de protótipo para a coleta de dados de temperatura usando microcontrolador ARM AT91SAM7X256 e sensor de temperatura DS18B20.	Constituição de uma rede de barramento CAN simples de padrão CAN2.0A e conexão com PC via utilizando padrão RS232 para a coleta de dados de temperatura. Para realização do experimento utilizou-se da plataforma virtual LabWindows/CVI com programação multi-thread para garantir o envio simultâneo de dados por todos os nodos da rede.	Temperatura

Quadro 3.1 – Sumários dos artigos analisados

(continuação)

Artigos – Título/Autores	Objetivo do trabalho	Descrição da metodologia	Descrição de técnicas ou métodos de avaliação	Parâmetros
Microcontroller based temperature and luminosity control system using CAN Bus. R. Merugu and S. Pai.	Projetar um hardware para coleta de dados de temperatura e luminosidade de ambientes.	Estudo experimental com construção de protótipo para caracterização dos nodos sensores e do barramento CAN para controle e monitoramento de temperatura e luminosidade de ambientes.	Constituição de uma rede de barramento CAN simples utilizando padrão RS485 na caracterização do barramento para a coleta de dados de temperatura e luminosidade.	Luminosidade e temperatura de ambiente.
Non-intrusive sleep pattern recognition with ubiquitous sensing in elderly assistive environment. Ni, Hongbo and Wu, Shu and Abdulrazak, Bessam and Zhang, Daqing and Ma, Xiaojuan and Zhou, Xingshe	Projetar e desenvolver um leito para monitoramento do sono de pessoas idosas através de sensoriamento multiparamétrico do movimento corporal.	Estudo de caso por experimento, através da coleta de dados de movimento de corpo no leito, durante o sono, e analisados por métodos de reconhecimento de padrão.	Técnica de detecção multiparamétrica com matriz de sensor de pressão ultrafino e tags UWB, aproveitando o movimento de todas as partes do corpo. A relação de movimento multiparamétrico deflagra importantes atividades de padrão do sono.	Posições lateral-esquerdo (LLS), lateral-direito (SPI), em decúbito dorsal (SS), o sono propenso (PS) e levantar-se (GU).

Quadro 3.1 – Sumários dos artigos analisados

(conclusão)

Artigos – Título/Autores	Objetivo do trabalho	Descrição da metodologia	Descrição de técnicas ou métodos de avaliação	Parâmetros
Research on designing method of CAN bus and Modbus protocol conversion interface. Lou Guohuan and Zhang Hao and Zhao Wei.	Analisar a capacidade de integração entre os protocolos CAN e ModBus.	Estudo exploratório e experimental de integração dos protocolos CAN e ModBus na modificação do algoritmo de arbitragem.	Adaptação do modelo de comunicação, adaptando os protocolos na questão relacionada à arbitragem de transmissão dos dados, elencando a arbitragem mestre para o protocolo CAN e a arbitragem escravo para o protocolo ModBus.	Dados nativos do protocolo ModBus.
VCAN-Controller Area Network Based Human Vital Sign Data Transmission Protocol. Azmi, Atiya and Ishaque, Nadia and Abbas, Ammar and Soomro, Safeeullah	Propor uma arquitetura de solução simplificada para captura, armazenar, processar e transmitir sinais vitais humanos usando protocolo CAN com algumas alterações propostas no formato de quadro.	Análise quantitativa do número máximo de pacientes, do comportamento da largura de banda por aumento da capacidade de pacientes.	Mapeamento de dados de sinais vitais para estabelecer a sua representação em bits e formar as mensagens de alerta do sistema.	Frequência cardíaca, nível de oxigênio na corrente sanguínea, temperatura, pressão arterial e ECG.
Vital Signs Data Aggregation and Transmission over Controller Area Network (CAN). Ishaque, Nadia and Azhar, Noveel and Azmi, Atiya and Umm-e-laila and Abbas, Ammar.	Avaliar um algoritmo de agregação de dados no barramento CAN para a transmissão de sinais vitais humanos.	Estudo de caso experimental da arbitragem do protocolo CAN na captura de dados de sinais vitais.	Utilização de sistema central de controle e monitoramento na coleta dos dados.	Frequência cardíaca, nível de oxigênio na corrente sanguínea, temperatura, pressão arterial e ECG.

Do ponto de vista metodológico o quadro 3 destaca áreas de aplicação e ambientes a partir dos artigos selecionados para a leitura.

Quadro 3.2 – Artigos identificados, escopo, áreas e ambiente de aplicação

Artigos	Padrão de comunicação	Agregação de dados/Sinais vitais	Tipo do ambiente
A CAN bus based system for monitoring and fault diagnosis in wind turbine. M. Mohanraj. and R. Thottungal and K. Jaikumar	RS232/CAN	Não/Não	Sustentabilidade
A Framework for the interconnection of Controller Area Network based critical of care units. Ishaque, Nadia and Azhar, Noveel and Azmi, Atiya and Umm-e-laila and Urooj, Ayesha.	CAN 2.0B	Sim/Sim	Saúde hospitalar
A hybrid scheduling algorithm of high speed radar tracking system based on CAN bus. Niu Qinsheng and Huhai and Cao Yi and Pu Yuan and Li Pei.	CAN 2.0B	Sim/Não	Sensoriamento por radares de velocidade
Distributed remote temperature monitoring and acquisition system based on CAN bus. Q. Zhu and Zhu Dongmei and Su Xunwen.	CAN 2.0A/RS232	Não/Não	Indústria e Agricultura
Microcontroller based temperature and luminosity control system using CAN Bus. R. Merugu and S. Pai.	CAN 2.0/RS485	Não/Não	Experimento em laboratório
Non-intrusive sleep pattern recognition with ubiquitous sensing in elderly assistive environment. Ni, Hongbo and Wu, Shu and Abdulrazak, Bessam and Zhang, Daqing and Ma, Xiaojuan and Zhou, Xingshe	ModBus RTU/RS485	Não/Não	Avaliação de exame do sono/Medicina
Research on designing method of CAN bus and Modbus protocol conversion interface. Lou Guohuan and Zhang Hao and Zhao Wei.	ModBus RTU-RS232/CAN 2.0A	Não/Não	Experimento em laboratório
VCAN-Controller Area Network Based Human Vital Sign Data Transmission Protocol. Azmi, Atiya and Ishaque, Nadia and Abbas, Ammar and Soomro, Safeeullah	CAN 2.0A	Sim/Sim	Saúde hospitalar
Vital Signs Data Aggregation and Transmission over Controller Area Network (CAN). Ishaque, Nadia and Azhar, Noveel and Azmi, Atiya and Umm-e-laila and Abbas, Ammar.	CAN 2.0B	Sim/Sim	Saúde hospitalar

Fonte: Própria do autor (2016).

Todos os trabalhos analisados apresentam contextualização em redes seriais, dos quais 77,77% referem-se a trabalhos relacionados ao estudo e aplicação do protocolo CAN e 22,23% caracterizam a utilização do protocolo ModBus. Ainda, 44% dos trabalhos propõem a construção de protótipo para a realização dos experimentos.

Referente ao contexto das técnicas e métodos utilizados para a adaptação do modelo de arbitragem dos nodos sensores e do controle da comunicação, 55% dos trabalhos estão relacionados ao uso de protocolo CAN e realizaram estudos que propõem a modificação dos critérios de arbitragem para a obtenção de melhor utilização da largura de banda.

Referente à aplicação dos protocolos de rede com fio à área de saúde, especificamente para a coleta de sinais vitais, somente 33% atenderam ao contexto e, ainda, 11% atendem ao aspecto dos estudos relacionados a sinais biológicos baseados na comunicação com protocolo ModBUS.

3.6 Discussões dos resultados da RS

Compreendendo o conceito dos protocolos (CAN e ModBus) baseados em redes de comunicação serial aplicadas à área hospitalar, quanto ao padrão de arbitragem na rede, utilizou-se a taxonomia apresentada por Qinsheng *et al.* (2010) sobre sistemas de controle e monitoramento de radares, para obtenção de aumento da velocidade de transmissão, priorizando as informações de estado período para a transmissão na rede.

De forma semelhante no trabalho em questão, a classificação de prioridade de envio de determinado sinal na rede depende de análise prévia do nodo sensor escravo, observada a taxonomia sugerida por Carvalho (2008), onde a temperatura corporal é um tipo de sinal estático e, ainda, Bulecheck *et al.* (2010), na classificação das intervenções de enfermagem (do inglês: *Nursing Intervention Classification* – NIC), para regular a temperatura do paciente, recomendam a monitorização desse sinal vital a cada duas horas.

Em Azmi *et al.* (2011) e Ishaque *et al.* (2012), pode-se confirmar como são importantes os estudos relacionados à definição do modelo de dados agregado para a transmissão em rede. Ambos os estudos permitiram observar a análise dos dados representantes dos sinais vitais, os quais os autores destacam a utilização da definição nativa do protocolo para adicionar bit de interpretação no campo DLC e posterior análise dos dados no sistema de controle de alertas de anomalias de pacientes monitorados.

Estudo semelhante foi realizado por Qinsheng *et al.* (2013), com classificação de mensagens esporádicas, periódicas e não válidas em um sistema de monitoramento de radares, confirmado a capacidade da agregação de dados, com proposta de mudança da

arbitragem do nodo sensor, em promover melhorias à comunicação de uma rede, principalmente no aspecto de aumento da largura de banda.

Apesar deste trabalho não tratar a questão relacionada ao alerta dos sinais vitais coletados, é importante destacar a possibilidade de utilização da adaptação do protocolo nas diversas áreas de utilização do protocolo CAN. Watson e Alarcon (2008) apud Ishaque et al (2012) destacam em sua pesquisa.

Assim sendo, é notório o ganho exponencial entre $10e-2$ a $10e-4$ (estudo detalhado na seção 4) do volume de dados de temperatura, pressão sistólica e pressão diastólica na rede de comunicação, sendo favorável a inclusão de novos nodos sensores na rede, aumentando, desta forma, a monitoração de um número maior de pacientes, o que irá otimizar o trabalho da equipe de saúde, além de promover uma maior segurança de assistência ao paciente.

A análise dos estudos da RS permitiu identificar que, a produção científica sobre a aplicação das redes seriais com utilização dos protocolos CAN na rede hospitalar é escassa, tendo em vista que somente 30% dos estudos faz referência a protocolos dessa categoria para coleta de sinais vitais.

Ainda, mesmo que não tenha sido possível a identificação de trabalhos que caracterizem coleta de dados de sinais vitais humanos utilizando protocolo ModBus, é importante destacar a grande possibilidade de utilização dessa tecnologia de comunicação para a referida área, tecnologia esta escolhida para a realização dos experimentos desta pesquisa.

Desse modo, nota-se a necessidade de maiores investimentos em pesquisa nesta temática, dada a importância das redes seriais como tecnologia que promove grande segurança e velocidade na transmissão dos dados.

DADOS DE SINAIS VITAIS

Para a equipe de saúde, as evoluções de pacientes em leitos requerem o acompanhamento das atividades destes, de forma a registrar os eventos ocorridos (variação dos sinais vitais) para auxiliar nos futuros diagnósticos. Quaisquer alterações que ultrapassem as faixas estabelecidas como normais (quadro 3) devem ser considerados valores de alerta.

4.1 Características

Baseado nas discussões de Azmi *et al.* (2011) e Ishaque *et al.* (2012), na qual a proposta de um novo modelo de quadro demonstrou-se importante para a construção de um sistema de controle e monitoramento de sinais vitais, classificando-os como estáticos e dinâmicos, os quais agregaram bastante valor na mudança do modelo de arbitragem do nodo sensor escravo, responsável pela coleta dos referidos sinais e agregação para envio ao nodo mestre.

Seguindo a linha de raciocínio de Carvalho (2008), discutido na seção 2.1, a temperatura é considerada como um sinal estático, pois não oferece mudanças periódicas. Considerando que o paciente irá manter uma faixa normal de temperatura ou, mesmo estando com diagnóstico prévio de doença infecciosa, estar mantendo um intervalo de temperatura para o quadro em que se encontra, entende-se que o referido sinal pode ser coletado a cada de duas horas (Bulecheck et al, 2016), sem causar prejuízo ao paciente assistido.

Assim, para representar o quadro de dados referente aos sinais vitais sugeridos neste estudo, adotou-se a metodologia descrita em Azmi *et al.* (2011) para a obtenção do modelo de dados, o qual este (quadro 4.1) se apresenta numa forma mais simples, por não explorar as características de eletrocardiograma.

Quadro 4.1 - Faixa de dados de biosinais em bloco completo

Sinais Vitais	Faixa de dados	Valores máximos	Número de bits
Frequência Respiratória	12 – 20 rpm	9	4
Temperatura	35 – 36 °C	2	2
Frequência Cardíaca	60 – 100 bpm	41	5
Pressão Arterial Sistólica	60 – 90 mmHg	31	4
Pressão Arterial Diastólica	90 – 130 mmHg	41	5

Fonte: Própria do autor (2016).

4.2 Delimitação do datagrama

Sob o ponto de vista de que a grande preocupação é, além da segurança dos dados que trafegam no barramento serial, a possibilidade de aumento da capacidade limite de pacientes em alas de ambientes hospitalares, acredita-se que os estudos de Azmi *et al.* (2011) e Ishaque *et al.* (2012a), se confirmam em Ishaque *et al.* (2012b), em que neste último, a solução norteia-se na comprovação das propostas anteriores pela avaliação real da coleta dos dados de sinais vitais.

Assim, considerando neste trabalho a realização de experimento utilizando um protótipo de hardware constituindo nodos sensores e um nodo mestre para a captura de sinais de temperatura e frequência cardíaca, a adaptabilidade da arbitragem do nodo sensor escravo seria mínima, com ganhos exponenciais pelo controle de requisição dos dados de sinais vitais, estabelecendo períodos, antecipadamente, na arbitragem do referido nodo.

Para o melhor entendimento, supondo que o sinal de temperatura possa ser capturado por um nodo sensor, em média, a cada dois minutos, um simples estudo para ganho exponencial da largura de banda seria comprovado pela tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Estudo do ganho exponencial na largura de banda

Intervalo	Nodo na arbitragem padrão	Nodo na arbitragem sugerida	Ganho exponencial
1 minuto	2 Bytes/s	0,0166666 Byte/s	10e-2
10 minutos	20 Bytes/s	0,0016666 Byte/s	10e-3
1 hora	120 Bytes/s	0,0002777 Byte/s	10e-4
4 horas	460 Bytes/s	0,0000694 Byte/s	10e-5

Fonte: Própria do autor, 2016.

É importante ressaltar as observações realizadas por Azmi *et al.* (2011) quanto às especificações do sistema proposto em seu trabalho, principalmente, no que diz respeito às

unidades de processamento e agregação de dados e de digitalização e sensoriamento dos sinais vitais. Associada a essas unidades está encontra-se a unidade de entrada de dados contextualizados que especifica as atividades de coleta de acordo com as características de cada paciente, o que resulta numa mudança na taxa de amostragem para envio ao barramento de comunicação.

Essas observações foram primordiais para a formulação do período de envio de dados pelos nodos sensores fabricados para o experimento da pesquisa desta dissertação. O quadro 4.2 estabelece a taxa de amostragem que pode ser praticada nesse modelo de dados em questão e que serão fundamentais na construção da dinâmica de arbitragem utilizada nos nodos sensores escravos e no nodo sensor mestre.

Quadro 4.2 – Faixas amostrais por período (min)

Sinais Vitais	Taxas amostrais
FR	~30 amostras/min
Temp	1 amostra/min
FC	~200 amostras/min
PAS	1 amostra/min
PAD	1 amostra/min

Fonte: Própria do autor (2016).

Essas taxas podem variar em virtude das características do conversor A/D das unidades de processamento e agregação de dados com resolução aproximada de 10 bits, detalhadas no capítulo 5 deste trabalho.

Dois períodos distintos de aquisição de dados são importantes discutir e refletem a dinâmica de aquisição dos sinais vitais por sistemas de controle e monitoramento desses sinais. Em ordem de execução, o dispositivo mestre envia uma requisição ao barramento identificada ao nodo sensor a qual mensagem está endereçada para a captura dos sinais. Em um segundo período nodo sensor verifica o tempo de silêncio do barramento, evitando envio nesse intervalo inútil à resposta no barramento e evitando a perda dos dados coletados.

Neste estudo, o modelo ADU adotado evita a perda do quadro, caso o barramento ative o silêncio. Caso isso aconteça, a verificação de resposta feita pelo dispositivo escravo será reconduzida, evitando a perda do quadro a ser enviado ao dispositivo mestre (figura 4.1).

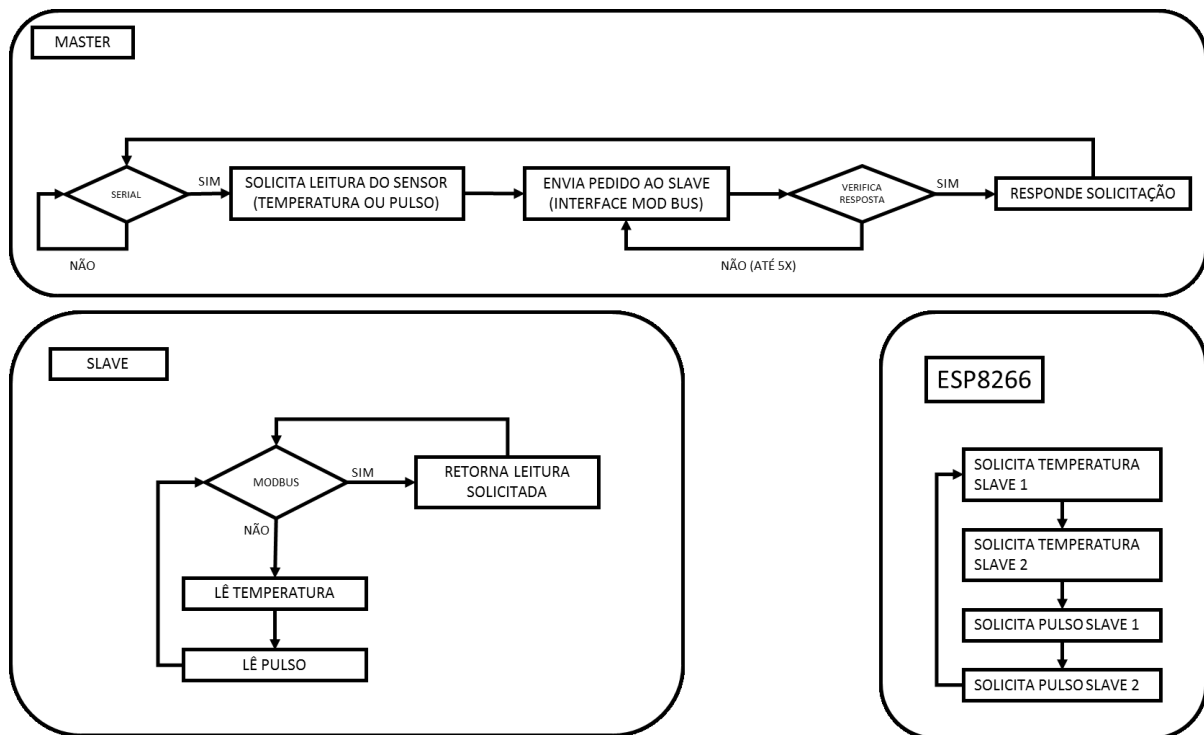


Figura 4.1 – Modelo de comunicação e dados adotados (ADU adaptativa).

Fonte: própria do autor, 2016.

As implementações promovidas por Andrade e Ordonez (2016) estão publicadas em repositório de código aberto para possíveis consultas acadêmicas.

CIRCUITO DE CAPTURA DOS SINAIS VITAIS

Nesta seção, serão apresentadas características referentes ao método utilizado para caracterização do protocolo escolhido na captura de sinais vitais selecionados. Em virtude da dificuldade de implementação dos sensores de captura da pressão arterial e da frequência respiratória, o estudo em questão se limitará à coleta dos sinais referentes à frequência cardíaca e temperatura corporal.

5.1 Aquisição e digitalização de sinais vitais

Nas atividades nos ambientes hospitalares são utilizados vários dispositivos eletrônicos com a finalidade de capturar sinais elétricos oriundos de sensores que representam um determinado evento biológico (figura 5.1) com uma quantidade de dados em tempo real, sendo esta uma tarefa difícil para o corpo técnico de saúde, já que existem vários pacientes com características (enfermidades) diferentes necessitando acompanhamento dos profissionais.

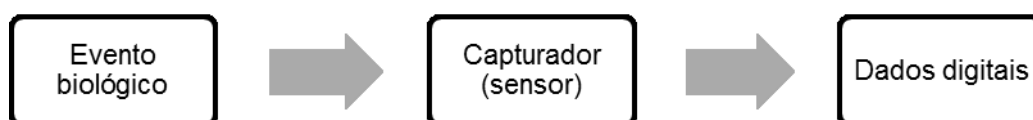


Figura 5.1 - Processo de detecção dos eventos biológicos
Fonte: Própria do autor (2016).

A quantidade de informações cresce de forma exponencial com o desenvolvimento dos turnos, exigindo das equipes de saúde, um controle minucioso em relação aos sinais elétricos produzidos e já transformados em informação por plataformas eletrônicas de *front-end*

representadas pelos equipamentos eletrônicos sob a forma de um sistema de aquisição de dados (arcabouço eletrônico - figura 5.2) para posterior processamento e visualização.

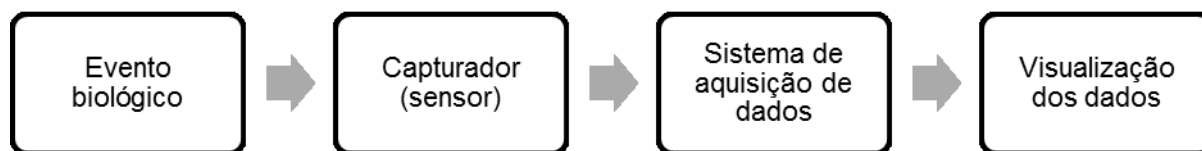


Figura 5.2 - Arcabouço eletrônico para detecção dos eventos biológicos
Fonte: Própria do autor (2016).

Considerando que o questionamento geral desta pesquisa foi conhecer se a arquitetura de hardware (nodos sensores), associada à arquitetura de rede adotada, pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas hospitalares de apoio à equipe de saúde, aderentes às normas e regulamentações existentes no domínio dessas atividades de coleta de sinais vitais, nessa seção pretende-se demonstrar a avaliação dos resultados de aplicação do modelo de rede (protocolo) dos sensores projetados para o experimento, através da utilização de simuladores de circuito eletrônico que abordem a utilização de redes com fio (GODOY *et al.*, 2010; AZMI *et al.*, 2011; ISHAQUE *et al.*, 2012).

Para a realização dessa avaliação, utilizou-se do resultado da revisão de literatura primária e secundária realizada nesse estudo e apresentada nas seções do capítulo 2, acerca da normatização em vigor aplicada às tecnologias de nodos sensores não invasivos utilizando modelos de comunicação serial (BOSCH, 1991; BOSCH, 2011) e da identificação dos problemas que comprometem a aquisição de dados nessa rede (AZMI *et al.*, 2011; ISHAQUE *et al.*, 2012).

Nessa etapa da pesquisa, a meta será identificar a possibilidade desses problemas aumentarem a possibilidade de geração de erros de comunicação como, por exemplo, quantidade de dados de aquisição do nodo sensor acima da capacidade de transmissão da rede, perda na transmissão ou recepção dos dados, interferência no sinal, os quais inviabilizam o melhor desenvolvimento do modelo de comunicação.

5.2 Protótipo

Identificados os problemas e fatores externos, nessa etapa da pesquisa foi admitido o modelo de comunicação orientado à mensagem, utilizando o protocolo CAN. Como alternativa para os problemas encontrados no projeto de comunicação do protocolo CAN

adaptado ao experimento desta dissertação, foi projetado também o protocolo ModBUS com comunicação serial RS485 e uma camada de aplicação de usuário, usando um WEBServer ESP8266, o qual permitiu a exibição dos dados de temperatura corporal e frequência cardíaca em tempo real.

Nessa seção, serão analisadas as características de sensores necessários à composição do nodo sensor de sinais vitais para a caracterização das variações do estado comportamental dos parâmetros dessa arquitetura. Com isso, pretende-se aumentar a capacidade de obtenção de um modelo ajustado para comportamentos variados das redes CAN e ModBUS, acrescentando, ainda, robustez de solução da aplicação desse modelo de rede para casos especializados (KELKAR; KAMAL, 2014).

Inicialmente, foi esboçado um projeto do circuito para os nodos sensores em aplicação online (www.schematics.com), de desenvolvimento de projetos eletrônicos, conforme figura 5.3.

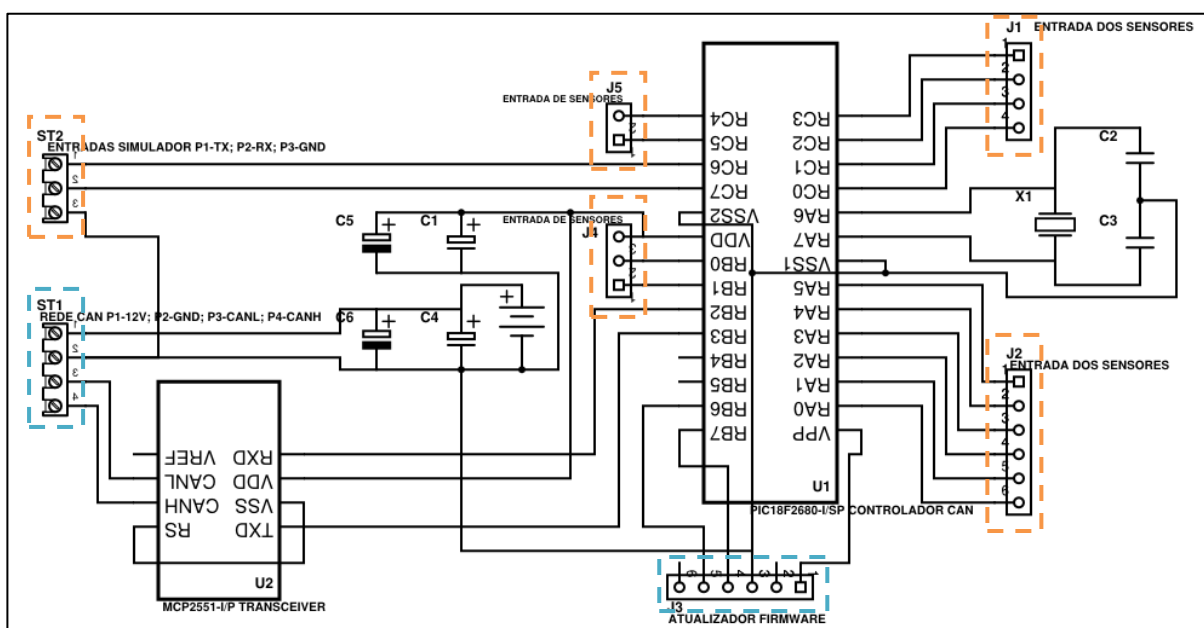


Figura 5.3 - Diagrama eletrônico do circuito de aquisição de sinais vitais.
Fonte: Própria do autor, 2015.

As conexões ST2, J1, J2, J4 e J5 foram projetadas para a realização da simulação de captura dos dados de sinais vitais, realizadas por software. As conexões ST1 e J3 foram projetadas para a conexão com o barramento RS485 e conexão para atualização do firmware, respectivamente. Os protótipos foram construídos utilizando-se o esquema eletrônico no software NI Utilboard 14.0 (figura 10).

O projeto do referido circuito caracteriza-se pela representação de um nodo sensor para o experimento com os protocolos CAN, utilizando microcontroladores Microchip PIC18F26K80, constituído por diversos periféricos, CPU, memória de programa e memória RAM e MCP2551, responsável pela conversão do padrão elétrico oriundo da comunicação CAN.

Um projeto paralelo foi desenvolvido com a finalidade de entender, também, o protocolo ModBus. Neste, foram utilizados os microcontroladores Microchip PIC18F26K80 para os nodos sensores escravos e Microchip PIC18F26K20 como nodo mestre, ambos utilizando o padrão RS485.

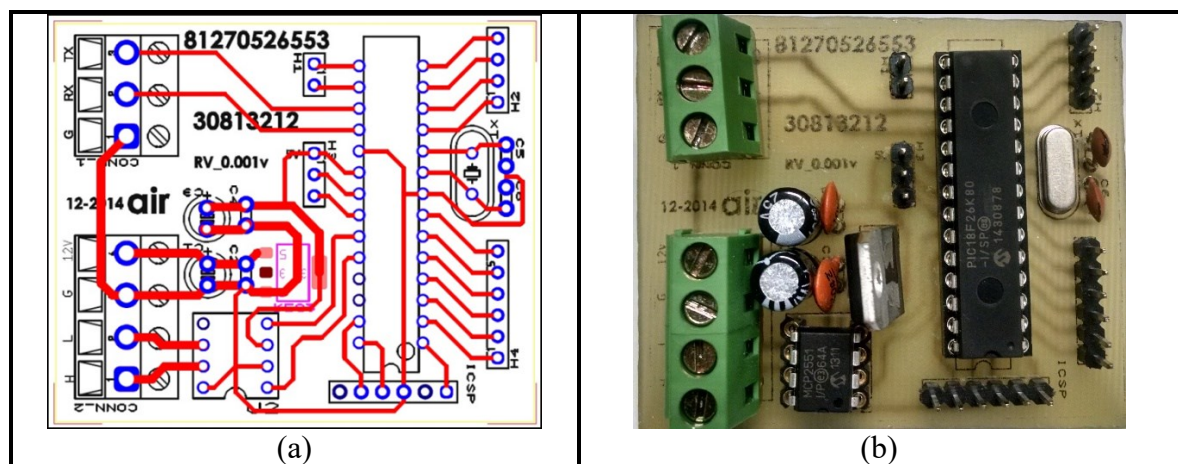


Figura 5.4 - (a) Esquema do circuito de aquisição de sinais vitais. (b) Protótipo.

Fonte: Própria do autor, 2016.

5.2.1 Detalhamento do hardware

Três nodos sensores foram projetados para caracterizar o experimento. Para os dois nodos escravos, foi projetado um circuito utilizando microcontrolador da Microchip PIC18F26K80 (figura 5.5.a) o qual possui um controlador CAN. Para o acesso à camada física do barramento CAN, foi incluído um transceptor CAN da Microchip MCP2551 (figura 5.5.b).

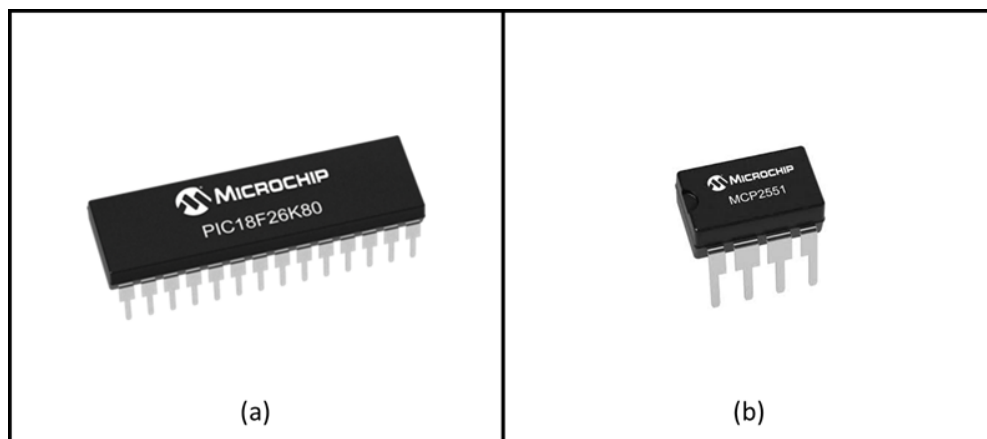


Figura 5.5 - Microcontrolador (a) e transceptor (b) utilizados na construção dos nodos escravos. Fonte: própria do autor, 2016.

O microcontrolador PIC18F26K80 é pertencente à na família PIC18F66K80 e composto de 28 pinos. Possui um módulo conversor analógico-digital (A/D) que permite a conversão de um sinal de entrada analógico para digital numa faixa representativa de 12 bits correspondente.

5.2.2 Sensor de temperatura DS18B20

De acordo com as características apresentadas na seção 2.1, os valores de temperatura corporal apresentados irão variar conforme escolha da via de coleta. A via de coleta utilizada nesse trabalho foi determinada pela proposta em questão de utilização de sensores não invasivos.

Os tipos de sensores de temperatura que são apropriados para a via de coleta não invasiva devem possuir características que evitem a absorção de umidade, em virtude do contato com a cútis.

O sensor de temperatura DS18B20 é comumente utilizado na automação industrial, na domótica, em rios e mares, como também pode ser empregado na medição da temperatura do corpo.

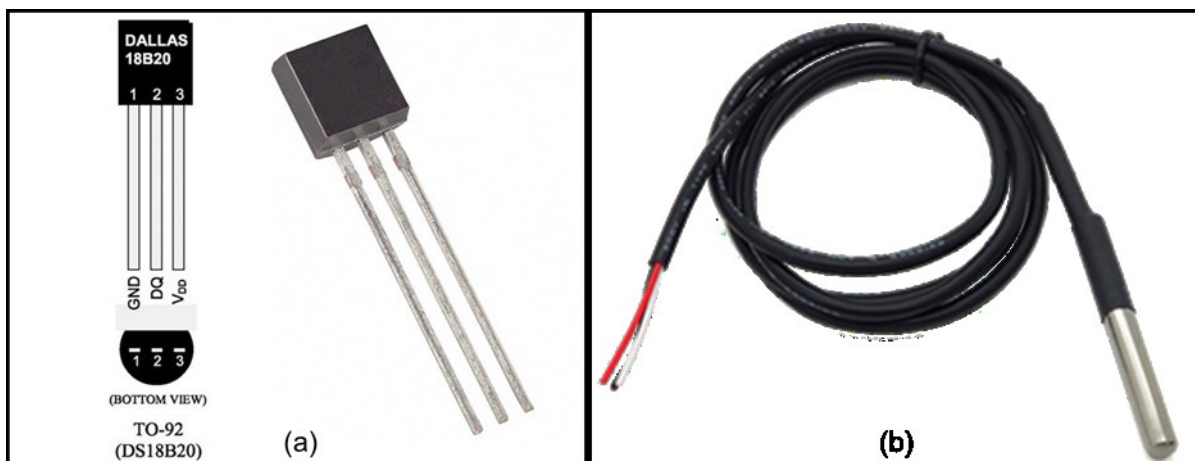


Figura 5.6 - Sensor de temperatura DS18B20 com (a) encapsulamento PR35 e (b) encapsulamento à prova d'água usado no experimento.
Fonte: Adaptado de Dallas Semicondutor, 2016.

O DS18B20 é um dispositivo de série com interface de comunicação 1-wire®, sendo capaz de realizar medições de temperatura em qualquer ambiente em que estiver sendo operado. O sinal fornecido pelo DS18B20 é digital com resolução de programação de 9 a 12 bits.

No quadro 5.1 são demonstradas algumas características importantes para o desenvolvimento do projeto.

Quadro 5.1 – Características elétricas do sensor DS18B20

Característica	Valor
Tempo de conversão da temperatura	200 μ s
Faixa de medição	-55°C a +125°C
Resolução	0,1°C
Exatidão	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ (entre 0°C a 70°C)

Fonte: própria do autor, 2016.

Os sensores DS18B20 de encapsulamento PR35 são os mais comumente empregados. Possuem três terminais condutores (pinos) necessários para a comunicação. O quadro 5.2 apresenta as descrições dos símbolos apresentados na figura 10a.

Quadro 5.2 – Símbolos e valores de pinagem do DS18B20

Símbolo	Pino	Descrição
GND	1	Aterramento
DQ	2	Sinal
VDD	3	Alimentação (3,3V ou 5,0V)

Fonte: própria do autor, 2016.

5.2.3 Sensor de frequência cardíaca

O desenvolvimento do sensor de frequência cardíaca é baseado na oximetria de pulso. A frequência cardíaca é medida utilizando-se de uma ponta oximétrica anelar (figura 5.7) conectada a um microcontrolador. Internamente, a ponta oxímetra é constituída por dois diodos emissores de luz (LEDs no espectro de onda vermelho (660nm) e outro no espectro de onda infravermelho (940nm)) além de um fotodiodo que recebe a parte não absorvida da luz emitida.

A oximetria de pulso detecta a luz transmitida em dois comprimentos de onda correspondendo às hemoglobinas reduzida e oxigenada. Os LEDs emissores da luz e o fotodiodo são colocados em alinhamento frontal, e quando em operação, são separados pelo tecido (dedo ou lóbulo da orelha) de 5-10mm de espessura.

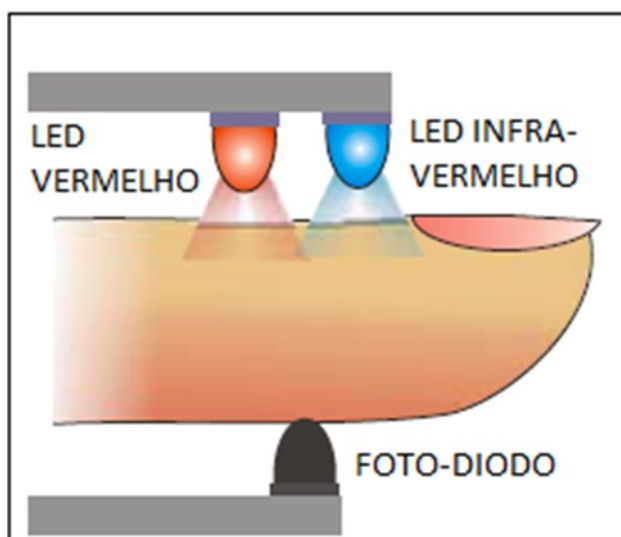


Figura 5.7 – Ilustração do sensor de pulso transcepcivo.
Fonte: Adaptado de Dallas Semicondutor (2016).

A diferença de absorbância entre a onda de pulso sistólica periférica e a diástole subsequente, resulta no sinal de interesse. Esse método de interpretação do fenômeno biológico para geração do sinal de pulso é embasado na Lei de Lambert-Beer, de acordo com a expressão matemática a seguir (COMPRI-NARDY; STELLA; OLIVEIRA, 2009):

$$T = e^{-a \cdot l \cdot C}$$

onde:

T = Transmitância

e = Logaritmo Natural de Euler

a = Constante

l = Espessura da solução

c = Concentração da solução (cor)

aplicando-se a forma logarítmica à equação:

$$-\ln T = a \cdot l \cdot c$$

Com logaritmo na base 10, o coeficiente de absorção é convertido no coeficiente de extinção K .

desta forma: $-\log T = k \cdot l \cdot c$

onde: $k = a/2.303$.

As determinações das concentrações de compostos, o " l " (caminho óptico), são mantidas constantes e têm grande importância para os bioquímicos, portanto:

$$-\log T = k' \cdot c$$

em que: $k' = k \cdot l$

O $-\log (I/I_0)$ foi denominado densidade óptica (DO) ou absorbância (A) ou extinção (E). Portanto, $A = k' \cdot c$.

Existe, ainda, a oximetria por reflexão. Nesta, são identificadas as quantidades de oxihemoglobina e desoxihemoglobina no fluido sanguíneo misto. Utiliza o princípio da espectrofotometria por reflexão (figura 5.8). A oximetria por reflexão pode ser usada em pacientes com pouca perfusão tecidual e hipotermia.

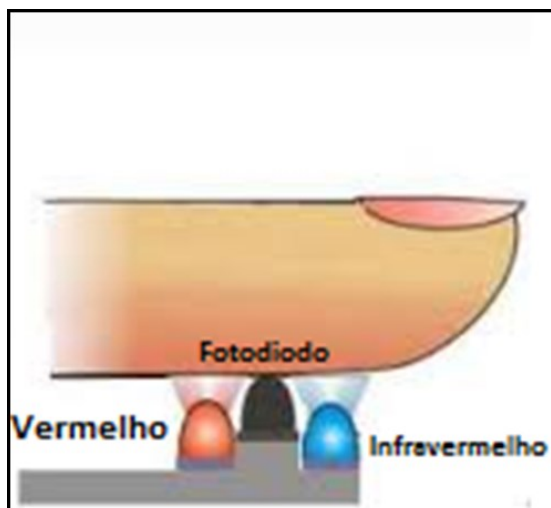


Figura 5.8 – Ilustração do sensor de pulso reflexivo.
Fonte: Adaptado de Dallas Semicondutor, 2016.

A figura 5.9 mostra um dispositivo de oximetria por reflexão de baixo custo, utilizado no experimento deste trabalho, semelhante ao trabalho de Cruz et al. (2016).

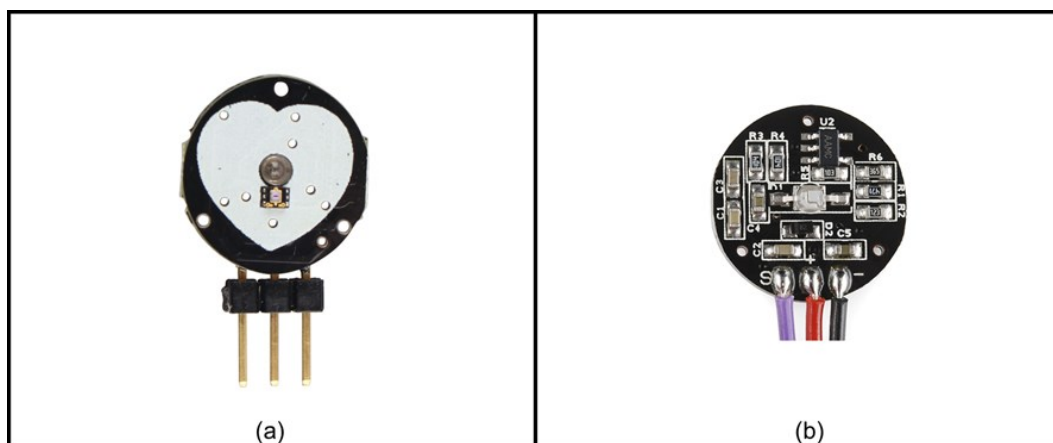


Figura 5.9 – Sensor de pulso reflexivo usado no experimento.
Fonte: Adaptado de AVR120, 2006.

Os sinais gerados por esse sensor de pulso são, tipicamente, analógicos e necessitam de uma intervenção (transformação) para que possam ser entendidos pela unidade de processamento do nodo sensor.

Um conversor A/D tem a finalidade de transformar um sinal analógico, com característica contínua no tempo, em um sinal amostrado, com característica discreta no tempo, com representação quantitativa em faixa numérica finita de valores inteiros, determinado pela resolução característica do conversor em *bits* (8, 10, 12, 16 etc). Por exemplo, para um conversor de 8 bits, o sinal de entrada é convertido em amostras em faixa de valores entre 0 e 255.

O sinal analógico a converter, sempre precisará ser submetido a uma transformação adequada em virtude da dificuldade de se acomodar, diretamente, à faixa de tensão de entrada do conversor, no qual o sinal deve condicionado com auxílio de circuitos analógicos passivos ou ativos.

Desta forma, é sempre importante analisar, em um projeto de processamento de sinais, a necessidade de utilização de circuito *Sample & Hold* (S/H). Esse circuito realiza uma amostragem periódica do sinal analógico, mantendo-o estável até que seja convertido para sinal digital (ORDOÑEZ; PENTEADO; SILVA, 2005). Sendo assim, a resolução de um conversor A/D pode ser obtida por uma faixa de valores analógicos e a quantidade de números existentes para a sua representação (*bits*), (também conhecido como quantização) conforme se explica na equação 5.1.

$$ADC = (V_{-}(REF-) + (V_{-}(REF+) - V_{-}(REF-)))/1024, \quad (5.1)$$

Onde V_{REF-} é a tensão de referência baixa e V_{REF+} é a tensão de referência alta.

Considerando $V_{REF-} = V_{dd}$ e $V_{REF+} = V_{ss}$, então, $V_{REF-} = 0$ e $V_{REF+} = 5$, consequentemente,

$$ADC = V_{-}(REF+)/1024 \quad (5.2)$$

Como não há possibilidade de discriminar infinitos valores analógicos com os finitos valores discretos de bits, cada representação binária corresponderá a uma faixa de valores analógicos (AVR120, 2006). Esse procedimento de conversão é conhecido como ruído de quantização (quadro 5.3).

Quadro 5.3 – Conversão analógico/digital

Valores de entrada analógicos	Valores de saída digitais
0,0 a 0,5	0...000
0,5 a 1,5	0...001
1,5 a 2,5	0...010
2,5 a 3,5	0...011
3,5 a 4,5	0...100
4,5 a 5,5	0...101

Fonte: Adaptado de AVR120 (2006).

O ruído de quantização é o erro obtido entre o valor real de tensão e o quantificado pela conversão digital. Ainda, o valor analógico pode ser tão insignificante (Least Significant Bit –

LSB) que é necessário aumentar a faixa de representação em bits para que seja necessário à representação dos diferentes valores analógicos.

Assim, assumindo os valores de tensão em unidades discretas (0; 1; 2; 3; 4; 5) o erro máximo absorvido seria representado na faixa de uma unidade de representação de tensão, então a resolução seria:

$$1 \text{ LBS} = \text{unidade discreta} / 1024 = 5 / 1024 = 0,0048\text{V} = 4,8\text{mV}$$

Se assumirmos valores no canal analógico de 124, 256 e 512, teríamos, respectivamente, tensões analógicas:

- $V_{in}=124*(5/1024)=124*4,8\text{mV}=0,6054\text{V}$
- $V_{in}=256*(5/1024)=256*4,8\text{mV}=1,2500\text{V}$
- $V_{in}=512*(5/1024)=512*4,8\text{mV}=2,4576\text{V}$

Em um projeto de circuito para processamento de sinais é importante reunir algumas informações sobre a especificação de conversores A/D como:

- Taxa de amostragem
- Número de bits de resolução
- Conversor interno ou externo
- Necessidade de circuito Sample & Hold (S/H) externo
- Linearidade
- Número de bits de precisão
- Valor comercial; entre outros.

A figura 5.10 detalha a utilização do circuito (S/H) da família PIC18F66K80 que indica o modelo de entrada analógica interna ao circuito, não sendo necessário o desenvolvimento de circuito externo para realizar a conversão.

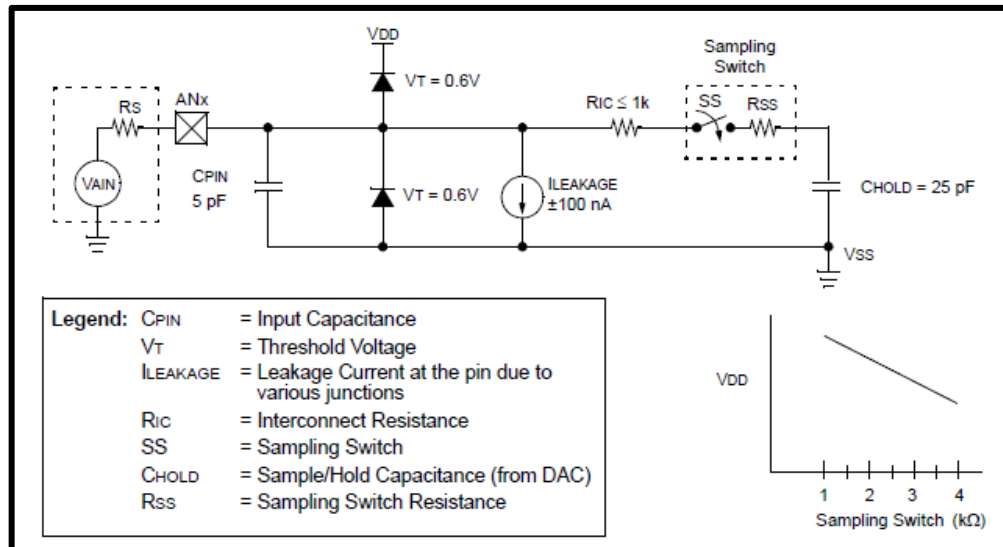


Figura 5.10 – Modelo de entrada analógica do PIC18F26K80.

Fonte: Datasheet Microchip família PIC18F66K80, 2016.

5.3 Testes preliminares

5.3.1 Para o sensor de pulso

Para garantir a precisão da resolução dessas unidades, o *clock* do conversor A/D precisa estar numa faixa de frequência no limite do conversor utilizado. Um teste inicial com o sensor de pulso foi realizado para garantir o seu funcionamento. O software desenvolvido por Bhatt (2013) sob as plataformas Arduino (embarcação) e Processing vs 3.1.2 (Aplicação), foi utilizado para confirmar a garantia do funcionamento do sensor.

A figura 5.11 demonstra o resultado da curva de frequência cardíaca, identificando o momento sistólico (pico da curva) que caracteriza o pulso cardíaco. Nessa, ainda, pode ser observado o número de amostras coletadas (112 amostras a cada 5 milisegundos), necessárias ao cálculo da frequência cardíaca (88,6 batimentos por minuto – BPM).

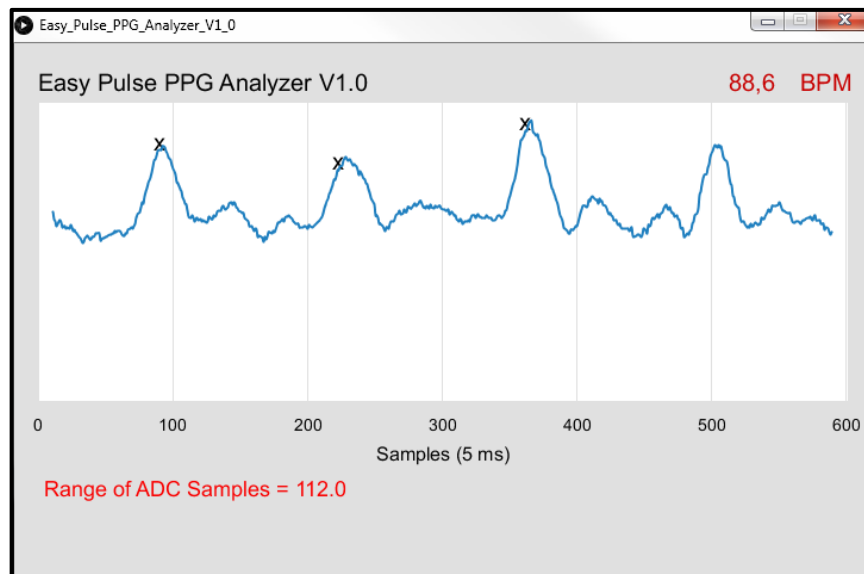


Figura 5.11 – Teste preliminares do sensor de pulso.
Fonte: Própria do autor, 2016.

Foi observada a faixa de 50 a 200 KHz. Esses valores estão baseados nas características de *clock* do conversor A/D recomendados para o microcontrolador Atmega328, utilizado, inicialmente, no experimento para realizar a calibração do sensor de pulso adquirido, que pode assumir os seguintes valores:

- $16 \text{ MHz} / 2 = 8 \text{ MHz}$
- $16 \text{ MHz} / 4 = 4 \text{ MHz}$
- $16 \text{ MHz} / 8 = 2 \text{ MHz}$
- $16 \text{ MHz} / 16 = 1 \text{ MHz}$
- $16 \text{ MHz} / 32 = 500 \text{ kHz}$
- $16 \text{ MHz} / 64 = 250 \text{ kHz}$
- $16 \text{ MHz} / 128 = 125 \text{ kHz}$

A nota de recomendação AVR120 (2006), que trata as características da porta ADC e os parâmetros utilizados para mensuração, indicam a frequência máxima que deve ser utilizada para obtenção de melhor desempenho na utilização da porta, não devendo ultrapassar de uma frequência de 200 KHz. No entanto, a mesma nota afirma que frequências que não ultrapassem o valor de 1 MHz não reduzem significativamente a resolução da porta ADC.

Com isso, a utilização de valores até 1 MHz não degradam a conversão do sinal analógico/digital.

Sendo assim, foi proposto, nesse princípio de experimento, uma modificação na embarcação do Arduino (figura 5.12.a), para aumentar a frequência de leitura dos sinais originados na porta analógica, em relação ao código original (BHATT, 2013).

<pre> /* AnalogReadSerial Reads an analog input on pin 0, prints the result to the serial monitor This example code is in the public domain. */ //Variaveis de armazenamento do tempo uint32_t t_inicio; uint32_t t_fim; void setup() { Serial.begin(9200); } void loop() { t_inicio = (uint16_t)micros(); int sensorValue = analogRead(A0)*2; t_fim = (uint16_t)micros(); Serial.println(sensorValue); delay_x(5); } void delay_x(uint32_t millis_delay) { uint16_t micros_now = (uint16_t)micros(); while (millis_delay > 0) { if (((uint16_t)micros() - micros_now) >= 1000) { millis_delay--; micros_now += 1000; } } } </pre>	<pre> /* AnalogReadSerial Reads an analog input on pin 0, prints the result to the serial monitor This example code is in the public domain. */ //Variaveis de armazenamento do tempo uint32_t t_inicio; uint32_t t_fim; void setup() { Serial.begin(115200); } void loop() { t_inicio = (uint16_t)micros(); int sensorValue = analogRead(A0)*2; t_fim = (uint16_t)micros(); Serial.println(sensorValue); delay_x(4); } void delay_x(uint32_t millis_delay) { uint16_t micros_now = (uint16_t)micros(); while (millis_delay > 0) { if (((uint16_t)micros() - micros_now) >= 1000) { millis_delay--; micros_now += 1000; } } } </pre>
(a)	(b)

Figura 5.12 – (a) Embarcação original e (b) modificada do coletor de sinais de pulso.

Fonte: Adaptado de BHATT, 2013.

A intervenção realizada na embarcação (figura 5.12.b), na qual a mudança ocorreu por meio do decréscimo do delay de cinco para quatro milissegundos, promovendo uma coleta maior de sinais. Os resultados ajustaram para melhor a curva de frequência cardíaca (figura 5.12).

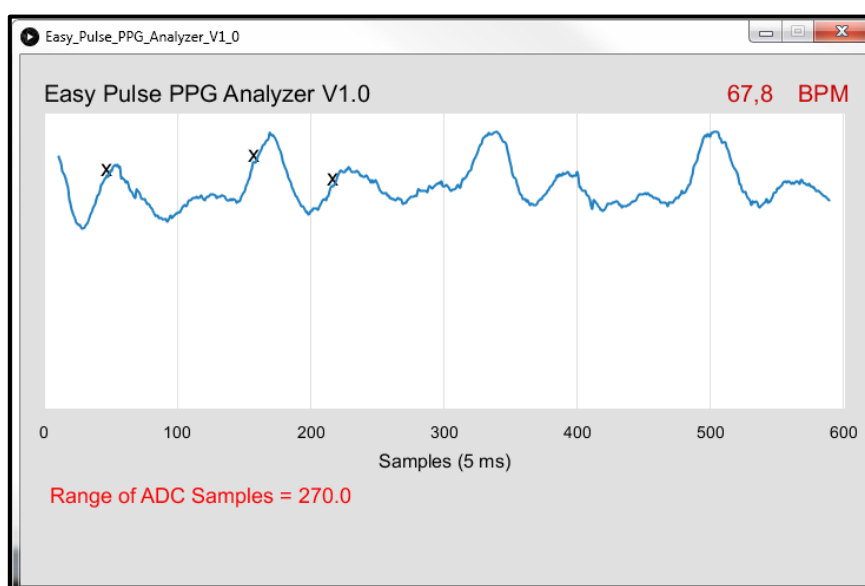


Figura 5.13 – Testes preliminares do sensor de pulso com mudança da embarcação.

Fonte: Própria do autor, 2016.

Essas intervenções confirmam a necessidade de ajuste entre os sensores e as portas de entrada do controlador AVR120 (2006) para representar, fielmente, os resultados de sinais vitais a se obter.

5.3.2 Para o sensor de temperatura

Diferente da caracterização do sensor de pulso em porta analógica, o sensor de temperatura utilizado neste projeto utiliza a porta digital one-wire para a comunicação com o microcontrolador.

Para a realização do teste do código para a captura da temperatura corporal, foi realizada uma simulação no ambiente de testes Proteus 8 Professional (figura 5.14), na qual a atividade de captura da temperatura foi realizada, obtendo valores de temperatura.

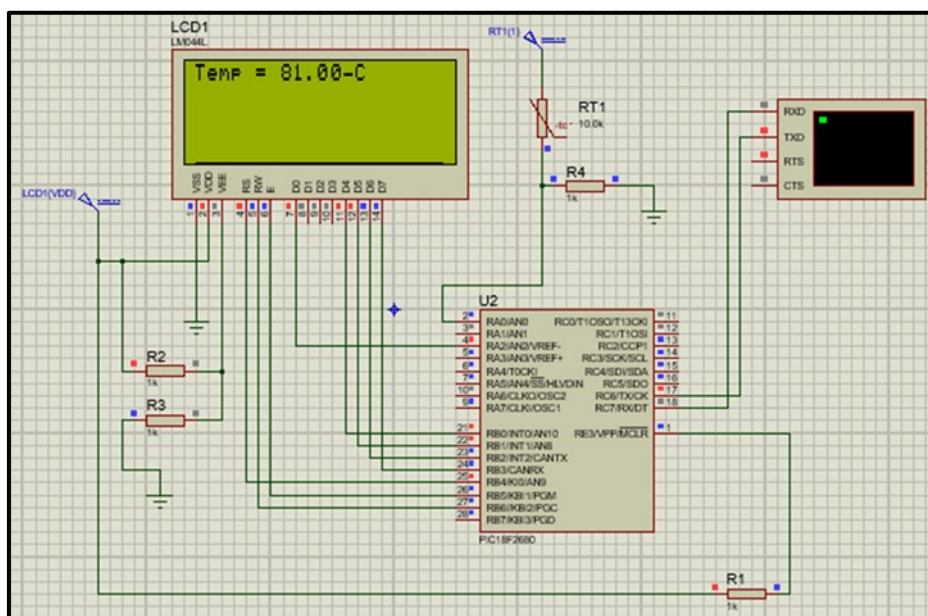


Figura 5.14 – Teste de comunicação isolada do PIC18F26k80 no ambiente de simulação *Proteus 8 Professional*.

Fonte: Própria do autor, 2016.

5.4 Testes com os protocolos de comunicação

Para a realização dos testes com o protocolo adaptado foi definida a utilização do simulador *Proteus 8 Professional*, ambiente de desenvolvimento de circuitos para a prototipagem e teste de embarcação.

A caracterização da rede de comunicação utilizando o protocolo CAN não foi possível em virtude do transceiver MCP2551 não fazer parte da biblioteca de componentes do Proteus.

Como alternativa para a elaboração dessa rede, foi adquirida a suíte de desenvolvimento de circuitos para embarcação (*TINA Design Suite vs 10.2.0.342* em 8 de dezembro de 2015), após pesquisa sobre a possibilidade de utilização de bibliotecas de componentes contendo o MCP2551.

São algumas das características da referida suíte (figura 5.15):

- Simulação de circuitos em modo analógico, digital, simbólico, RF e misto;
- Sofisticada apresentação gráfica;
- Medições em tempo virtual e real;
- Desenho de PCB integrado, HDL, microcontrolador (MCU), SMPS, Spice e modelos de parâmetro S, entre outros recursos.

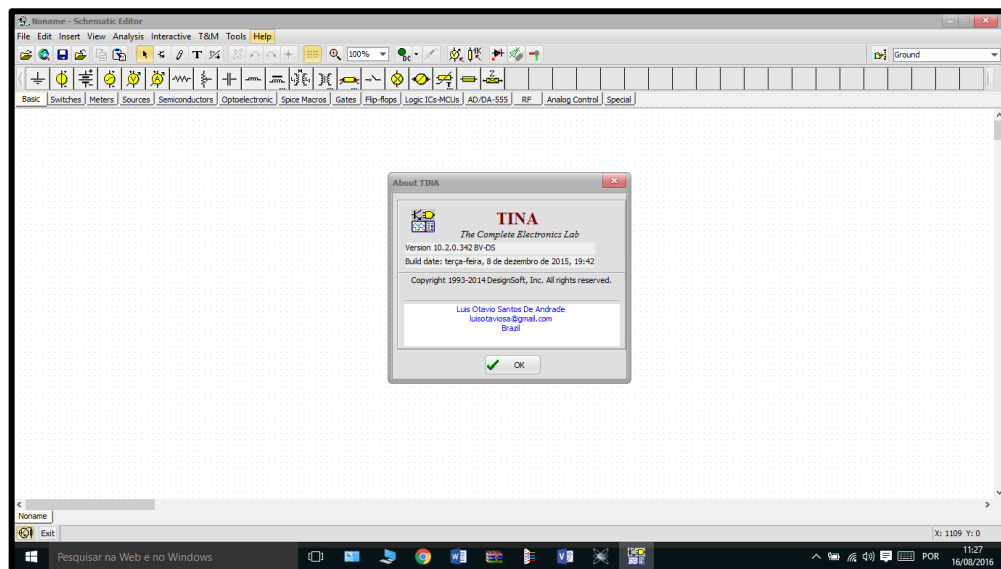


Figura 5.15 – Ambiente de simulação *TINA Design Suite vs 10.2.0.342*.

Fonte: Própria do autor, 2016.

5.4.1 Teste com o protocolo CAN modo serial simplex

Para um teste simples de aprendizado da ferramenta, foi utilizado um cenário exemplo onde dois nodos sensores estão representados nas suas portas de entrada e saída com um teclado e com um display, respectivamente (figura 5.15). A intenção foi testar a continuidade da conexão ponto a ponto para envio das solicitações.

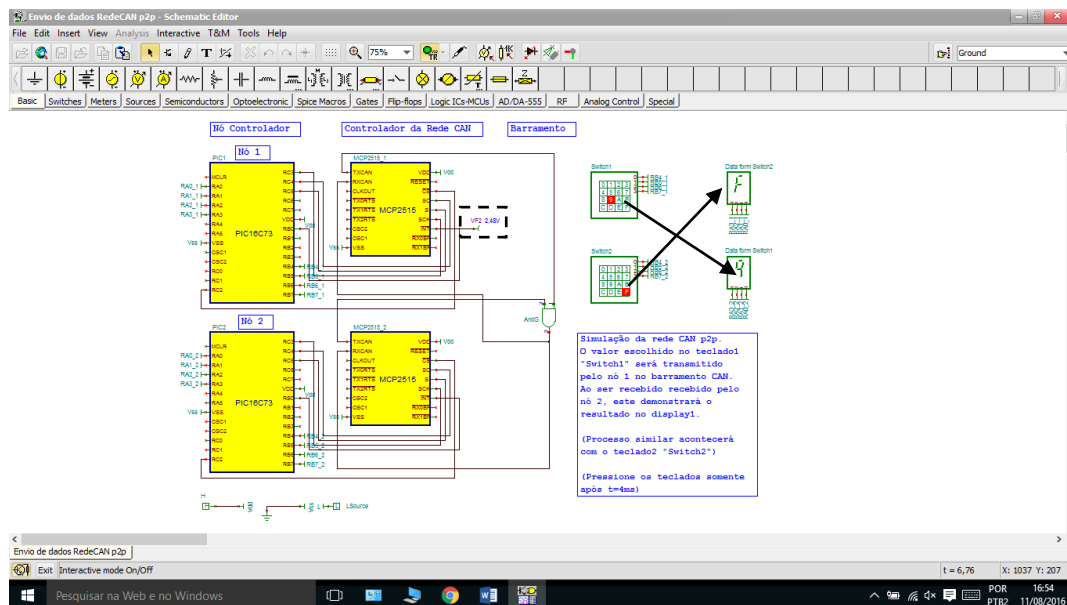


Figura 5.16 – Teste de comunicação CAN Simplex sentido Nodo1-Nodo2 no ambiente de simulação *TINA Design Suite*.
Fonte: Própria do autor, 2016.

É importante observar que o modo de operação (tracejados das figuras 5.16 e 5.17) obriga a mudança de direcionamento do fluxo dos dados.

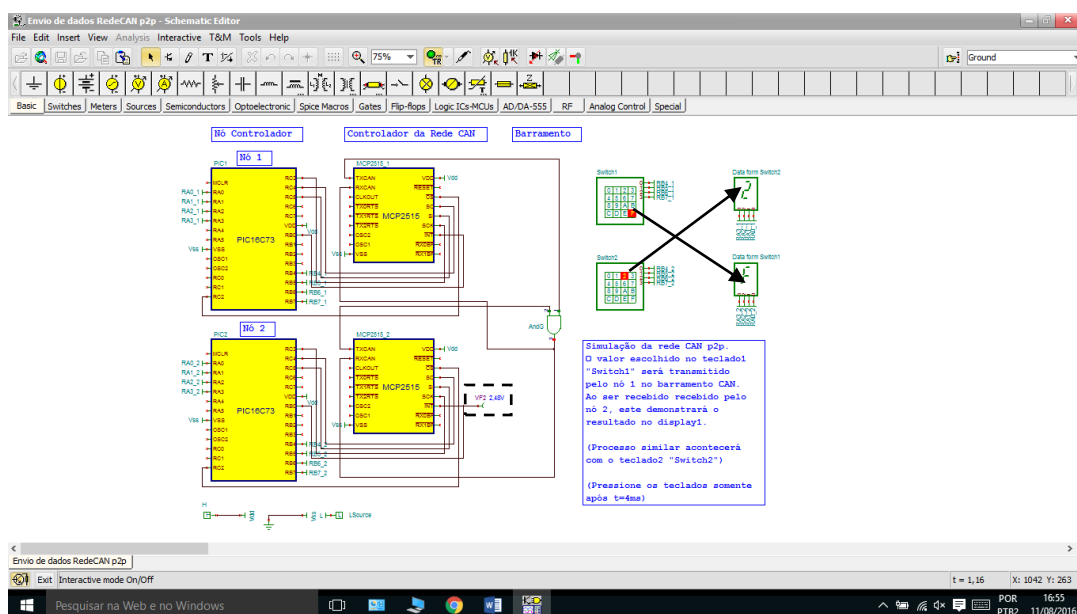


Figura 5.17 – Teste de comunicação CAN Simplex sentido Nodo2-Nodo1 no ambiente de simulação *TINA Design Suite*.
Fonte: Própria do autor, 2016.

O ambiente de simulação respondeu aos estímulos realizados no teclado alfanumérico, confirmando o envio de dados em ambos os sentidos.

5.4.2 Teste com o protocolo CAN utilizando barramento serial (dois fios)

Para a realização dessa simulação foi sugerido um cenário onde dois nodos sensores estão caracterizados nas suas portas de entrada e saída com um interruptor lógico de alta e baixa, e com leds, respectivamente. A embarcação utilizada para a realização dessa simulação foi baseada na biblioteca nativa do ambiente de desenvolvimento e compilação de linguagem C, o *PIC C Compiler*.

Embora o código tenha compilado sem erros para o cenário de simulação nessa fase, com caracterização da rede utilizando todos os componentes necessários para aproximar os testes das características do protótipo projetado para o experimento desta dissertação, o resultado da simulação utilizando o protocolo CAN ocorreu sem êxito.

Várias tentativas de mudança no projeto eletrônico do circuito foram realizadas com a intenção de entender a pontualidade da falha na comunicação (figura 5.18). O teste isolado do PIC18F26K80 obteve êxito, descartando a possibilidade de equívoco na implementação da função de entrada e saída de dados do referido circuito no ambiente de simulação.

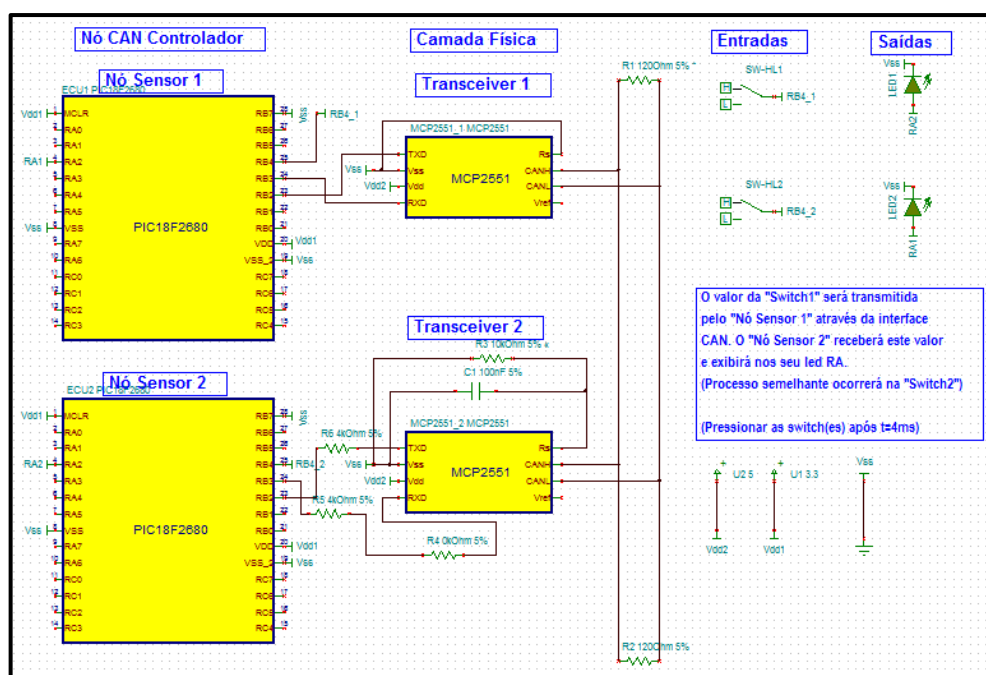


Figura 5.18 – Teste de comunicação CAN Barramento Serial no ambiente de simulação *TINA Design Suite*.

Fonte: própria do autor, 2016.

A falha da comunicação demonstrou, ainda, a desvantagem da escolha do modelo de protocolo e da difícil implementação da camada de controle dos dados e determinação da prioridade de acesso ao meio (HOFSTEE; GOENSE, 1999). Além disso, detalhes importantes da área de eletrônica como, por exemplo (figura 5.19), definição das características

eletrônicas dos componentes necessários à constituição do circuito, requer um estudo minucioso para a caracterização completa deste.

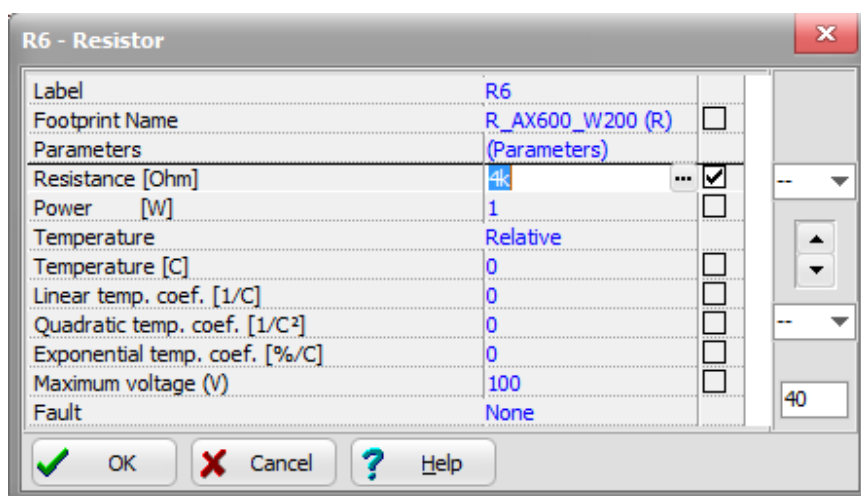


Figura 5.19 – Parâmetros do componente Resistor no ambiente de simulação *TINA Design Suite*.

Fonte: Própria do autor, 2016.

5.4.3 Alternativa ModBUS para estabelecimento do nodo sensor de sinais vitais

Em virtude da necessidade de busca de um modelo de protocolo que se adequasse às características do protocolo CAN para a aplicação no experimento que estabeleceu a construção de um sistema de controle e aquisição de dados de sinais vitais, comprovado nos resultados e síntese da revisão sistemática (capítulo 3), e ainda, entendida a dificuldade encontrada para a implementação do referido protocolo, optou-se, como alternativa de modelo de protocolo para o desenvolvimento completo do experimento em questão, o modelo (figura 5.20) baseado em barramento serial no padrão RS485 e camada de controle de dados e aplicação do protocolo ModBUS.



Figura 5.20 – Arquitetura baseada em protocolo ModBUS/RS485.

Fonte: Própria do autor, 2016.

A seguir serão demonstradas as etapas que contemplaram o desenvolvimento do experimento para a obtenção dos resultados a ser apresentados nesta seção e discutidos na seção 5.4.

5.4.4 Teste com o sensor de temperatura

Para observar o comportamento da captura dos sinais de temperatura, foram estabelecidas leituras simultâneas, sendo uma leitura, a captura do nodo sensor um e duas de termômetros comerciais TechLine® e Western®, em mesma área axilar corporal. O tempo de coleta obedeceu ao tempo de referência do termômetro comercial TechLine® (aproximadamente um minuto).

Os registros de temperatura do nodo sensor1 em relação aos termômetros comerciais demonstraram que os valores de temperatura são aproximados em 0,55°C. Os dois termômetros comerciais utilizam ponta metálica a prova d'água, o qual resultou em valores mais próximos, comparado ao sensor de mesma categoria utilizado no nodo sensor sem ponta metálica (figura 5.20). Isto se deve ao fato de existir maior superfície de contato quando usada a ponta metálica.

O modelo matemático utilizado na embarcação do nodo sensor é baseado nas referências do DS18B20 (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2016) e contempla o quesito de qualidade do dado coletado e transmitido.

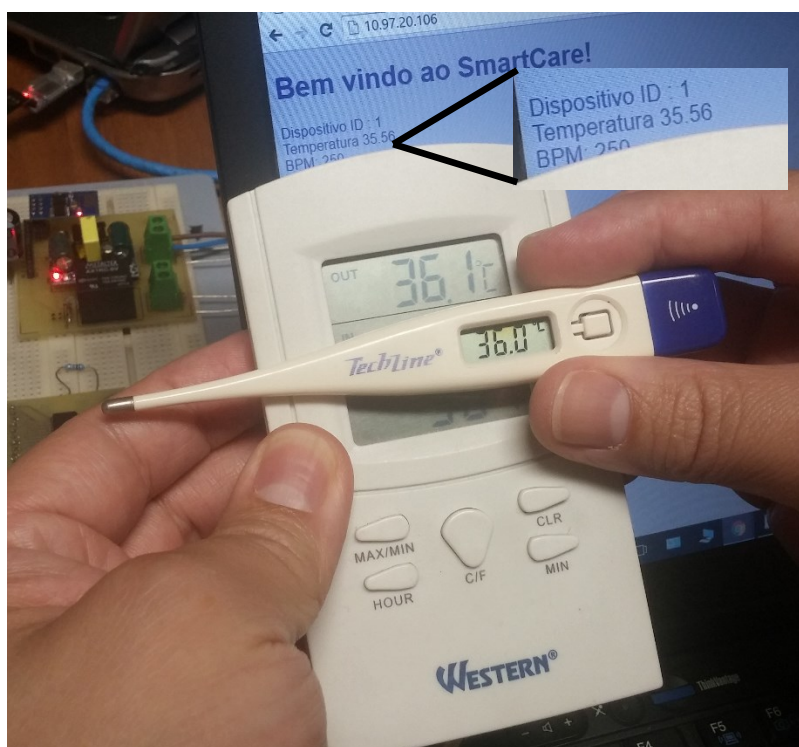


Figura 5.20 – Teste de comparação de coleta de temperatura do nodo1 com os termômetros comerciais.

Fonte: Própria do autor, 2016.

A mesma dinâmica foi realizada substituindo o nodo sensor1 pelo nodo sensor2. Os resultados de comparação apontaram valores aproximados de 1,0°C em relação ao termômetro comercial Western® e de 1,4°C em relação ao termômetro comercial TechLine®. Apesar das

diferenças de temperatura registradas no teste realizado com o nodo sensor2 aumentarem, entende-se que no momento da coleta, a sudorese influenciou a atividade do sensor sem ponta metálica, diminuindo a superfície de contato com a pele (figura 5.21).

Os registros confirmaram a veracidade do modelo matemático utilizado na embarcação dos nodos sensores e que garantem a qualidade dos dados obtidos.

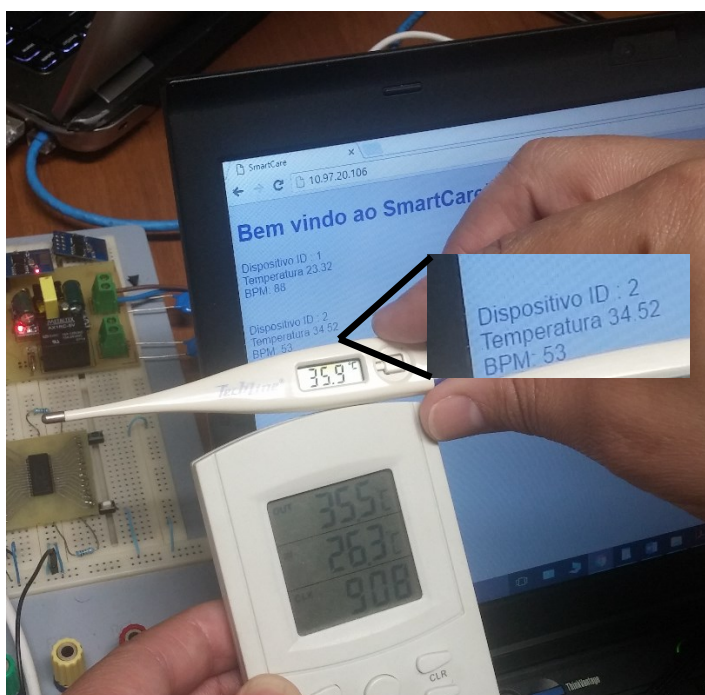


Figura 5.21 – Teste de comparação de coleta de temperatura do nodo2 com os termômetros comerciais.

Fonte: Própria do autor, 2016.

5.4.5 Teste com o sensor de frequência cardíaca

De forma semelhante à coleta de temperatura, para observar o comportamento da captura dos sinais de pulso, foram estabelecidas leituras simultâneas, sendo uma leitura para a captura do sensor do nodo1 e outra no frequencímetro e oxímetro comercial OXYWATCH C20 da CHOICEMMED, em área da extremidade dos dedos indicador e médio (figura 5.22).

Foi utilizado como referência para a coleta, o tempo de execução do frequencímetro e oxímetro comercial (aproximadamente dez segundos). Os registros de frequência cardíaca do nodo sensor1 demonstraram que os valores são favoráveis e o modelo matemático utilizado na embarcação contempla o quesito de qualidade do dado coletado e transmitido.

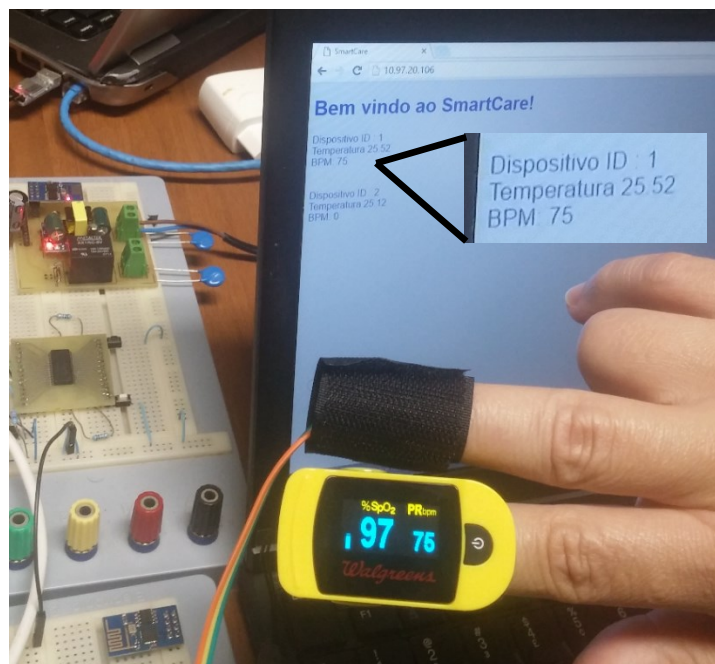


Figura 5.22 – Teste de comparação de coleta de frequência cardíaca entre o nodo1 e o frequencímetro e oxímetro comercial.
Fonte: Própria do autor, 2016.

Teste também foram realizados com o nodo sensor2 para observar o comportamento do mesmo em relação aos testes realizados com o nodo sensor1. Os resultados para a comparação com o sensor2 foram semelhantes aos da coleta do sensor1, confirmando a capacidade do modelo matemático utilizado em ajustar a curva de frequência e oferecer valores justos em comparação ao frequencímetro e oxímetro comercial utilizado neste teste (figura 5.23).

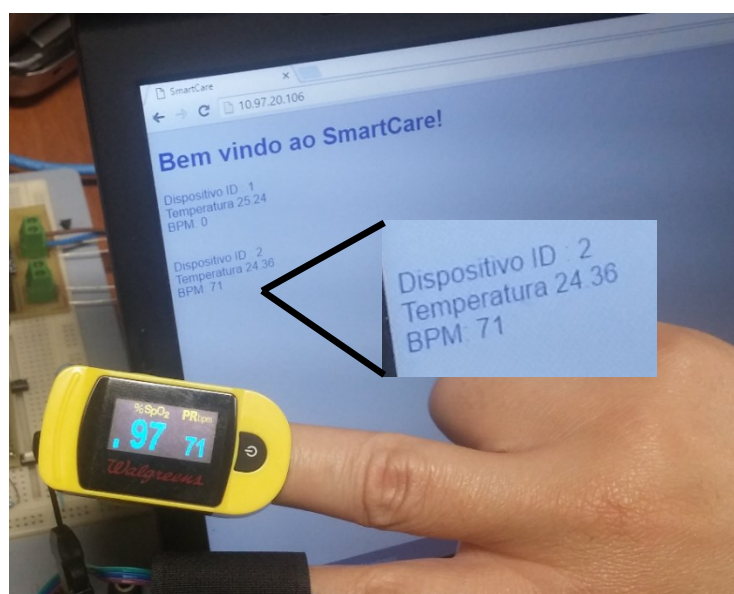


Figura 5.23 – Teste de comparação de coleta de frequência cardíaca entre o nodo2 e o frequencímetro e oxímetro comercial.
Fonte: Própria do autor, 2016.

É importante registrar a necessidade de acoplamento da ponta do dedo no sensor para que não comprometa a leitura dos pulsos, que pode sofrer interferências externas de luz intensa.

5.4.6 Teste com o protocolo ModBUS padrão RS485

Na realização dos testes do protocolo ModBUS é importante conhecer as atividades a realizar e os recursos que serão necessários para a execução da prova de conceito do experimento. Cenários devem ser definidos para que os testes ocorram dentro do que foi estabelecido, tentando aproximar a prova do contexto real (figura 5.24).

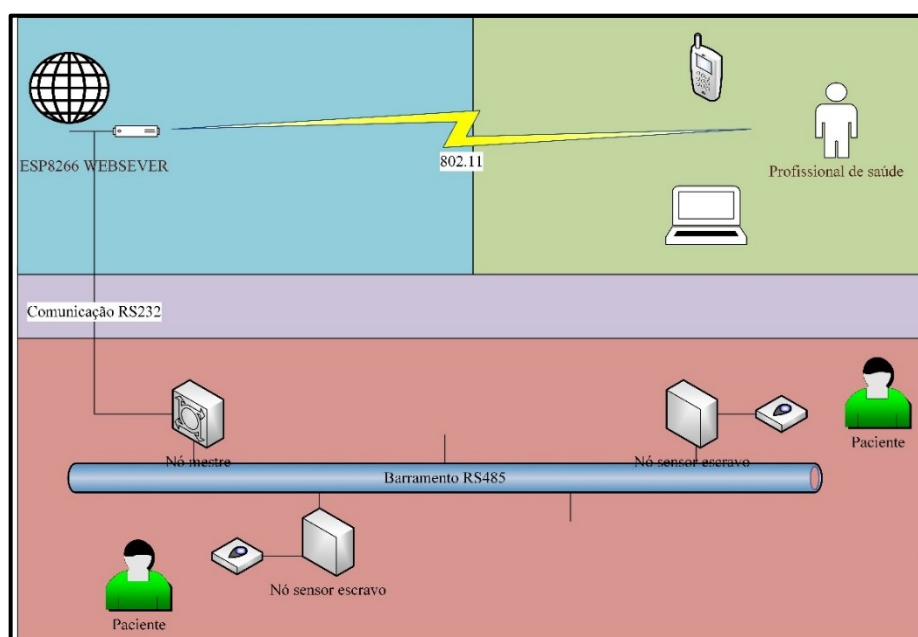


Figura 5.24 – Esquema de comunicação elaborado para a o experimento de captura dos sinais vitais.

Fonte: Própria do autor, 2016.

Os testes de comunicação com o protocolo ModBUS seguiram um planejamento adotado no qual foi definido o cenário, conforme apresenta-se a seguir:

- Cenário prático 1- A captura de dados acontecerá sem regra de temporização, para que se observe o tráfego de dados utilizando a capacidade máxima dos nodos sensores para coleta dos sinais vitais por um período. Dois nodos sensores realizarão a captura de sinais em “pacientes” distintos, com características fisiológicas, também, distintas. Os dados serão registrados contendo o horário da requisição realizada pelo nodo mestre, em dois tempos (primeiro a captura da temperatura e em seguida a captura dos pulsos, convertidos em frequência cardíaca). Após a captura dos sinais, observou-se um tempo longo de retorno dos dados após a requisição.

16/8/2016 18:07:30	16/8/2016 18:07:42	29.20	75
16/8/2016 18:07:46	16/8/2016 18:07:58	27.52	0
16/8/2016 18:07:51	16/8/2016 18:08:03	28.28	78
16/8/2016 18:08:07	16/8/2016 18:08:18	27.56	51
16/8/2016 18:08:12	16/8/2016 18:08:24	28.12	75
16/8/2016 18:08:28	16/8/2016 18:08:40	27.60	0
16/8/2016 18:08:33	16/8/2016 18:08:45	28.04	62
16/8/2016 18:08:49	16/8/2016 18:09:01	28.00	0
16/8/2016 18:08:54	16/8/2016 18:09:06	28.04	60
16/8/2016 18:09:10	16/8/2016 18:09:22	28.04	0
16/8/2016 18:09:15	16/8/2016 18:09:27	27.56	136
16/8/2016 18:09:31	16/8/2016 18:09:43	28.08	0
16/8/2016 18:09:36	16/8/2016 18:09:48	27.56	71
16/8/2016 18:09:52	16/8/2016 18:10:04	28.04	78
16/8/2016 18:09:57	16/8/2016 18:10:10	27.56	65
16/8/2016 18:10:13	16/8/2016 18:10:24	28.00	62
16/8/2016 18:10:18	16/8/2016 18:10:31	27.52	83
16/8/2016 18:10:36	16/8/2016 18:10:47	27.56	51
16/8/2016 18:10:41	16/8/2016 18:10:53	27.52	55
16/8/2016 18:10:57	16/8/2016 18:11:09	27.52	0
16/8/2016 18:11:18	16/8/2016 18:11:29	27.52	55
16/8/2016 18:11:02	16/8/2016 18:11:35	27.52	65
16/8/2016 18:11:39	16/8/2016 18:11:50	27.48	62
16/8/2016 18:11:44	16/8/2016 18:11:55	27.52	75
16/8/2016 18:11:59	16/8/2016 18:12:12	27.44	62
16/8/2016 18:12:05	16/8/2016 18:12:16	27.44	55
16/8/2016 18:12:20	16/8/2016 18:12:32	27.44	71
16/8/2016 18:12:26	16/8/2016 18:12:37	27.40	0

Figura 5.25 – Log de coleta de temperatura e de frequência cardíaca dos nodos sensores.
Fonte: Própria do autor, 2016.

- Solução empregada: foi modificado (reduzido) o tempo entre duas requisições no projeto do servidor ESP8266 (Andrade; Ordoñez, 2016), o que resultou em uma redução entre o tempo de requisição e o tempo de entrega da mensagem.

18/8/2016 17:59:50	18/8/2016 17:59:56	28.40	115
18/8/2016 17:59:43	18/8/2016 18:00:02	25.12	62
18/8/2016 17:59:57	18/8/2016 18:00:03	28.40	115
18/8/2016 18:00:03	18/8/2016 18:00:07	25.28	62
18/8/2016 18:00:04	18/8/2016 18:00:08	33.40	115
18/8/2016 18:00:08	18/8/2016 18:00:11	25.32	75
18/8/2016 18:00:09	18/8/2016 18:00:13	33.40	115
18/8/2016 18:00:13	18/8/2016 18:00:16	33.40	88
18/8/2016 18:00:13	18/8/2016 18:00:19	25.32	75
18/8/2016 18:00:17	18/8/2016 18:00:21	34.00	88
18/8/2016 18:00:20	18/8/2016 18:00:22	25.32	150
18/8/2016 18:00:21	18/8/2016 18:00:23	34.00	88
18/8/2016 18:00:24	18/8/2016 18:00:28	25.40	78
18/8/2016 18:00:25	18/8/2016 18:00:29	34.00	88
18/8/2016 18:00:29	18/8/2016 18:00:33	25.44	78
18/8/2016 18:00:31	18/8/2016 18:00:34	34.12	57
18/8/2016 18:00:34	18/8/2016 18:00:38	25.44	166
18/8/2016 18:00:35	18/8/2016 18:00:39	34.20	57
18/8/2016 18:00:39	18/8/2016 18:00:42	34.20	57
18/8/2016 18:00:39	18/8/2016 18:00:45	25.44	166
18/8/2016 18:00:43	18/8/2016 18:00:47	34.24	0
18/8/2016 18:00:46	18/8/2016 18:00:48	25.44	65
18/8/2016 18:00:47	18/8/2016 18:00:50	34.24	0
18/8/2016 18:00:50	18/8/2016 18:00:54	25.44	62
18/8/2016 18:00:51	18/8/2016 18:00:55	34.24	0
18/8/2016 18:00:56	18/8/2016 18:00:59	25.48	62
18/8/2016 18:00:57	18/8/2016 18:01:00	34.28	78
18/8/2016 18:01:00	18/8/2016 18:01:04	25.48	65

Figura 5.25 – Log de coleta de temperatura e de frequência cardíaca dos nodos sensores com redução do tempo de coleta no servidor.
Fonte: própria do autor, 2016.

- Cenário prático 2 – A captura dos dados realizou-se, obedecendo a regra de temporização estabelecida pelo nodo mestre (modificação sugerida no protocolo nativo do PIC C, realizada por Andrade e Ordoñez (2016)) em combinação com a temporização (*delay* de cinco milissegundos) aplicação servidora do ESP8266.

5.5 Discussões técnicas e custos

Ao se construir dispositivos para a finalidade de coleta de dados e posterior envio em uma rede de comunicação, faz-se necessário um estudo detalhado da arquitetura de hardware a ser empregada, garantido a sua capacidade de agregação de dados e diminuindo a taxa de erro inerente ao processo de comunicação de dados.

As redes seriais com fio usando protocolo CANbus e ModBUS apresentam grandes resultados quando utilizadas nas aplicações embarcadas em indústrias e veículos. Os resultados desse investimento nas redes seriais para controle e monitoração de dispositivos são comprovados em estudos que destacam a capacidade de gerenciamento e a robustez dos protocolos.

Apesar dos protocolos CANbus demonstrarem simplicidade de projeção da sua arquitetura de comunicação, há sempre a necessidade forte de entendimento das características eletrônicas que definem o controlador e o transdutor da rede de comunicação. Vale ressaltar que a utilização de simuladores que possam representar parte ou representem completamente um projeto utilizando os protocolos CANbus, diminuirá os riscos de insucesso ao investimento em questão.

Semelhante ao trabalho de Azmi (2011), procurou-se modelar o projeto baseado nos conceitos da adaptabilidade dos sinais vitais pelo estudo de suas características de repetição e adequando esses sinais vitais ao contexto do protocolo.

Além da necessidade de observação das características dos fenômenos biológicos, os estudos minuciosos sobre os fenômenos físicos que representam a forma de captura e conversão desses sinais é importante para o ajuste dos projetos de RTU, já que estes precisam de autonomia e capacidade de processamento local (MERUGU; PAI, 2012; ORDOÑEZ; PENTEADO; SILVA, 2005).

Os protocolos ModBUS são muito difundidos nas aplicações industriais, sendo na última década, alvo de pesquisa para aplicação em sistema de automação e controle de

energia, o que caracteriza a robustez do protocolo por se tratar de sistemas que requerem tempo de resposta mínimo.

Além disso, a simplicidade de entendimento do protocolo estudado e submetido a experimento, é característica importante para que investimentos em outras áreas de interesse nas aplicações de tempo real, como é o caso da área de saúde, o que torna possível a realização de projetos de maior volume e tempo de experimento (ISHAQUE *et al*, 2012).

Existem, ainda, desafios enfrentados por instituições públicas os quais requer discussões mais amplas para apoio em projetos que viabilizem a construção de sistemas de aquisição de dados em tempo real com a possibilidades de baixo custo. No quadro 5.4 são demonstrados os investimentos realizados nesta pesquisa, no quais os componentes foram cotados em moeda norte-americana e convertidas ao valor referente à moeda brasileira.

Quadro 5.4 – Relação dos componentes utilizados no experimento com valor de aquisição.

Componente	Quantidade	Valor (R\$)
Módulo Conversor Rs232 Ttl P/ Rs485 Max485 - Arduino Pic	3	36,00
Microcontrolador PIC18F26K80	2	37,00
Microcontrolador PIC18F26K20	1	13,00
Módulo ESP8266 WiFi	1	25,00
Capacitor 2200 uF	2	1,00
Capacitor 100 uF	1	0,10
Resistor 10Kohms	9	2,70
Resistor 4,7Kohms	4	0,80
Resistor 470ohms	1	0,10
Cabeamento	1	2,00
Botão Switch tátil	6	1,20
Sensor de pulso	2	59,80
Sensor de temperatura	2	17,20
Placa acrílica	1	10,00
Total		R\$ 205,9

Fonte: Própria do autor, 2016.

Levando-se em consideração que foram fabricados três dispositivos para caracterizar a rede de comunicação, o valor médio estimado de cada dispositivo apresentou viabilidade econômica (R\$ 68,63) quando comparado aos dispositivos individuais de manuseio como, por exemplo, termômetro digital e frequencímetro.

Ainda, é notória a possibilidade de decréscimo do valor de investimento quando observada a possibilidade de produção em larga escala.

CONCLUSÃO

Para uma correta gestão das atividades da equipe de saúde, na qual a coleta de informações dos pacientes é primordial para a evolução diuturna destes, é necessária a utilização correta e adequada de tecnologia da informação que contribua, principalmente, para minimizar os erros laborativos das equipes, minimizando os impactos causados pela má decisão, consequência do uso incorreto da informação.

Desta forma, avaliar a possibilidade de utilização de sistemas automatizados destinados à coleta de dados de sinais vitais em ambientes distintos à UTI, e, ainda, a garantia de resguardar estes dados para futura análise e toma da decisão por parte da equipe de saúde, significa um grande avanço para a comunidade de saúde.

Ao monitorar um paciente a equipe de saúde depende de vários aspectos: dimensionamento de pacientes por profissionais, turno, deslocamento nas alas, episódios de emergência, equipamentos básicos manuais para medida de sinais vitais, entre outros.

Utilizar de monitorização de sinais vitais, assim como ocorre em ambientes de UTI, resultaria em uma evolução de qualidade do paciente, pois haveria a possibilidade de antecipação dessas informações primordiais para o acompanhamento e à tomada de decisão por parte do profissional, podendo evitar maiores gravidades à saúde do paciente.

Utilizar-se de tecnologia dotada de características como robustez, altas taxas de transmissão e qualidade de entrega das informações, estudos preliminares são necessários para se adotar os padrões adequados ao sistema de controle e gerenciamento de dispositivos associados a estes pacientes quando em leito nos ambientes hospitalares.

A caracterização desses padrões de comunicação utilizando redes seriais e protocolos que gerenciam diretamente a camada de enlace de dados e a camada física são parte da solução de integração com aplicações que necessitam de informações de nível operacional.

Foram estudados neste trabalho de dissertação os conceitos de padrões de comunicação que estão sendo aplicados às atividades de coleta de dados de pacientes em ambientes hospitalares, os métodos de agregação do modelo de dados adequados à captura de sinais vitais, os componentes eletrônicos necessários à caracterização dos nodos sensores e do barramento, além das vantagens e desvantagens em se escolher esse tipo de topologia.

Em função da necessidade de direcionar a busca por trabalhos já realizados, em que a características fundamentais estivessem associadas à transmissão e ao controle de dados de sinais vitais que sofresse pouca ou nenhuma interferência externa, foi realizada uma pesquisa de literatura secundária sob a metodologia de revisão sistemática referente ao uso dos protocolos CANbus e ModBUS.

A síntese da revisão sistemática demonstrou o valor da metodologia adotada, direcionando de forma organizada e respondendo aos questionamentos realizados no início da revisão. Apesar de observar na revisão sistemática a tendência pela aplicação do protocolo CAN para a captura de sinais vitais, a tentativa de caracterização da rede serial utilizando o protocolo CANbus não obteve sucesso em virtude da complexidade do protocolo no seu nível físico, inviabilizando o planejamento do estudo com o referido protocolo na fase experimental.

Como alternativa, foi estudado e utilizado o protocolo ModBUS no experimento, o qual demonstrou simplicidade em sua implementação. Em função da necessidade de redução do escopo do projeto, foram excluídos do projeto dos nodos sensores as atividades de coleta de frequência respiratória e pressão arterial, o que não inviabilizou a construção do modelo de dados para o experimento.

A adoção de um modelo baseado no código padrão do protocolo ModBUS, adaptado às características dos sinais vitais, demonstrou a capacidade de utilização do referido protocolo na caracterização de rede seriais adaptadas a ambientes hospitalares, preservando a qualidade dos dados e garantia de entrega em tempos aceitáveis e dentro da definição de sistemas de tempo real.

Este modelo adotado foi adaptado ao hardware projetado com a finalidade de captura de sinais vitais de temperatura e frequência cardíaca. Nesta dissertação foi construído um protótipo e validado via simulação usando ferramentas de projetos de circuitos e via experimental com testes reais contendo dados vindos dos sensores específicos para coleta de informações desses sinais vitais.

É importante destacar a formatação nativa do protocolo ModBUS, que adota um tempo de silêncio no barramento, o que pode ser desvantajoso para dispositivos com sensores

onde a quantidade amostral é elevada, o que poderá comprometer a interpretação do sinal como erro.

Intervenções realizadas na embarcação referente a esse período de silêncio foram favoráveis ao melhor fluxo de dados na rede, evitando perda de informação valiosa, bem como a sobrecarga do barramento.

6.1 Contribuições

Espera-se que esta pesquisa tenha as seguintes contribuições:

- A construção de um hardware específico de baixo custo com o objetivo de capturar sinais vitais (temperatura e frequência cardíaca) utilizando barramento de comunicação RS485 e protocolo ModBUS;
- O hardware desenvolvido nesta pesquisa conduzirá o programa de pós-graduação a uma nova vertente de pesquisa que poderá integrar grupos multidisciplinares para o desenvolvimento de pesquisas com cunho científico/social. Vale ressaltar que o hardware fabricado para a pesquisa em questão será disponibilizado para estudos de outros pesquisadores;
- A visão aberta do código do protocolo ModBUS adaptado à captura de sinais vitais facilitará o entendimento e a exploração amplificada por parte do corpo docente e discente das instituições de ensino e pesquisa;
- Considerando que, durante a revisão sistemática, observou-se a aplicabilidade da rede serial utilizando protocolo ModBUS nas áreas industrial, automotiva, agrícola e de eficiência energética, este estudo irá proporcionar uma abrangência, uma vez que sua aplicação será destinada para a área de saúde.

6.2 Trabalhos futuros

Com a finalidade e o desejo em dar continuidade ao projeto de captura de sinais vitais utilizando protocolo de comunicação serial, acredita-se a ampliação do nodo sensor com outras funcionalidades de coleta de dados como, frequência respiratória e pressão arterial são fundamentais para o estudo do comportamento desses sinais na rede de comunicação com fio.

Referente ao modelo de dados, entende-se que a temporização de determinados sinais, a exemplo da temperatura, trará ganhos exponenciais para o fluxo de dados da rede serial, uma vez que o modelo adotado pelo protocolo ModBUS permite a implementação dessa restrição em um dos quadros padronizados pelo protocolo.

Para afirmar a capacidade de proteção contra interferências eletromagnéticas, é importante a submissão do projeto em uma escala maior com intervenção de espectros de onda de alta potência no momento de execução das atividades de coleta de sinais vitais para observar o comprometimento dos dados.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. O. S.; ORDONEZ, E. D. M. **Código adptado de PIC C para implementação de protocolo ModBUS na captura de sinais vitais.** © 2016 GitHub, Inc. Publicação aberta: Disponível em: <https://github.com/luisotaviosa/ModBUS_VitalSigns>. Acesso em 18 ago. 2016.

ARAÚJO, B.G. et al. Modelo arquitetural para geração de alertas aplicado ao monitoramento de pacientes em ambiente hospitalar. **Rev. Bras. Eng. Biom.**, v. 28, n. 2, p. 169-178, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/rbeb.2012.022>>. Acesso em 15 jan. 2016.

ASADA, H. H.; et al. Mobile Monitoring with Wearable Photoplethysmographic Biosensors. IEEE Engineering In: **Medicine And Biology Magazine**, May/June, 2003.

AVR120. **Characterization and Calibration of the ADC on an AVR.** 2006. Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc2559.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

AZMI, A., et al., VCAN-Controller Area Network Based Human Vital Sign Data Transmission Protocol. In: Lin, S., Huang, X. (eds.) CSEE 2011, Part I. CCIS, vol. 214, pp. 290–296. Springer, Heidelberg. 2011.

BEGG, R.; LAI, DANIEL T. H.; PALANISWAMI, M. **Computational Intelligence in Biomedical Engineering** 1 ed. CRC Press, Inc., Boca Raton, fl, USA. 2007.

BHATT, R. **PC-Based heart rate monitor using arduino and easy pulse sensor.** EMBEDDED Lab. 2013. Disponível em: <<http://embedded-lab.com/blog/pc-based-heart-rate-monitor-using-arduino-and-easy-pulse-sensor/>>. Acesso em 03/07/2016.

BOSCH, R. **CAN Specification Version 2.0.** Stuttgart, 1991.

BOSCH CAN Specification version 2.0 (2011). Disponível em: <<https://www.esd.cs.ucr.edu/webres/can20.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

BULECHECK, G. M. et al. **Classificação das Intervenções de Enfermagem (NIC).** 6 ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2016. 640p.

CENA, G. et al. Fixed-Length Payload Encoding for Low-Jitter Controller Area Network Communication. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 9, n. 4, 2013.

CERVIN, A. **Integrated Control and Real-Time Scheduling.** 2003. (PhD Thesis ISRN LUTFD2/TFRT- 1065-SE). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

CHEN, B.; POMPILI, D. Transmission of Patient Vital Signs Using Wireless Body Area Networks. Mobile Netw Appl. **Springer Science+Business Media**. doi 10.1007/s11036-010-0253-7. 2010.

CHEN, H.; TIAN, J. Research on the Controller Area Network. International Conference on Networking and Digital Society. **Computer Society, IEEE**. doi: 10.1109/ICNDS.2009.142.

COMPRI-NARDY, M.; STELLA, M.B.; OLIVEIRA, C. **Práticas de Laboratório de Bioquímica e Biofísica**. Guanabara Koogan, 2009, 200 págs.

CONSENSO BRASILEIRO DE MONITORIZAÇÃO E SUPORTE HEMODINÂMICO. Parte II: Monitorização Hemodinâmica Básica e Cateter de Artéria Pulmonar. RBTI - **Revista Brasileira Terapia Intensiva**. v. 18, n. 1, 2006.

CREASE, R. P. **A Medida do Mundo: A busca por um sistema universal de pesos e medidas** Zahar [S.l.] p. 86. 2011.

DA CRUZ, L. F. et al. Um sistema para monitoramento de sinais fisiológicos baseado em hardware de baixo custo com acesso via WEB. **Anais do WoCCES/SBRC**, 2016.

ETSCHBERGER, K. **Controller Area Network Basics, Protocols, Chips and Applications**, 2 ed. Weingarten, Germany: IXXAT Automation GmbH, July 2001.

FENG, D. D. **Biomedical Information Technology**. Series-Academic Press in Biomedical Engineering. ISBN: 0123735831. Hardcover. Academic Press. 2007.

GALLOWAY, B.; HANCKE, G. Introduction to industrial control networks. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, v. 15, n. 2, p. 860-880, 2013.

GODOY, E. P., et al. Modelagem e simulação de redes de comunicação baseadas no protocolo CAN - Controller Area Network. **Revista Controle & Automação**. v.21, n.4. Julho e Agosto 2010, p. 425-438.

GUOHUAN, L.; HAO, Z.; WEI, Z. Research on designing method of CAN bus and Modbus protocol conversion interface. **International Conference on Future BioMedical Information Engineering**. IEEE, E-ISBN: 978-1-4244-4692-6, doi: 10.1109/FBIE.2009.5405874, 2009.

HAAS, G. R. **Desenvolvimento e Validação de um Sistema de Monitoração de Leitos Hospitalares**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2012.

HOERBST A.; AMMENWERTH E. **A Structural Model for Quality Requirements regarding Electronic Health Records**. State of the art and first concepts - SEHC'09, May 18-19, 2009, Vancouver, Canada.

HOFSTEE, J.W.; GOENSE, D. Simulation of a Controller Area Network-based Tractor-Implement Data Bus according to ISO 11783, **J. Agric. Engng Res**. v. 73, 383-394.

HUANG, A.; et al. WE-CARE: An Intelligent Mobile Telecardiology System to Enable mHealth Applications. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 18, n. 2, 2014.

ISHAQUE, N., et al. A Framework for the Interconnection of Controller Area Network (CAN) Based Critical Care Units. **International Journal of Advanced Information Technology (IJAIT)** Vol. 2, No.4, August 2012.

ISHAQUE, N., et al. Vital Signs Data Aggregation and Transmission over Controller Area Network (CAN). **Advances in Computer Science, Engineering & Applications**, Volume 166 of the series Advances in Intelligent and Soft Computing pp 539-548. 2011.

JADHAV, A. D.; MALI, S. D. **RTOS Based MODBUS Protocol Implementation on ARM-7 Processor**. International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET 2011) – TCET, Mumbai, India. 2011.

JARVIS, C. **Exame Físico e Avaliação de Saúde para Enfermagem**. 6 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

JBIEBNM. Management of the Child with Fever. **Best Practice**. v 5, n.5, Blackwell Science-Asia, Australia, 2001.

JENA; T. R.; SWAIN, A. K.; MAHAPATRA, K. **A Novel Bit Stuffing technique for Controller Area Network (CAN) Protocol**. International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies (ICAECT). 2014.

JUN, J.; LIANGZHONG, F.; FUAN, Z. **A Design of CAN-bus Based Collector for Automatic Meter Reading System**. Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing, 2010. DOI: 10.1109/CINC.2010.5643730.

KASHIF, H.; BAHIG, G.; HAMMAD, S. **CAN bus analyzer and emulator**, p. 1-4, 2009, IEEE

KELKAR, S.; KAMAL, R. **Implementation of Data Reduction Technique in Adaptive Fault Diagnosis Algorithm for Controller Area Network**. International Conference on Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA). IEEE, 2014.

KOZAK, T.; MAKOWSKI, D.; NAPIERALSKI, A. **Distributed Radiation Monitoring System for Linear Accelerators ased on CAN Bus**. Int. Conf. on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. June, 2009, Lodz, Poland, p. 107-110

LIVANI ALI, M.; KAISER, J.; JIA, W. Scheduling hard and soft real-time communication in a controller area network. **Control Engineering Practice**. V. 7. Julho, 1999.

MERUGU, R.; PAI, S. **Microcontroller based Temperature and Luminosity Control System using CAN Bus**. International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies. 2014.

MODBUS-IDA. **Modbus application protocol specification**. v1,1a, June 4, 2004.

MODBUS-IDA. **Modbus application protocol specification** v1,1b, Organização Modbus, Tech. Rep., 2006.

Modicon MODBUS Protocol Reference **Guide**, **MODICON**, Inc., Industrial Automation Systems One High Street, North Andover, Massachusetts 01845, 1996.

MOHANRAJ, M; THOTTUNGAL, R.; JAIKUMAR, K. A CAN **Bus based system for monitoring and fault diagnosis in Wind Turbine**. International Conference on Emerging Trends in VLSI, Embedded System, Nano Electronics and Telecommunication System (ICEVENT), Tiruvannamalai, 7-9 Jan 2013, p. 1-3.

MOLIN, J. P. et al. **Os benefícios da padronização ISOBUS nas máquinas agrícolas**. Campo Aberto, Canoas, v. 82, p. 30 - 31, 01 maio 2005.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. - 2001. ISBN 85-216-1269-9.

NEUMANN, P. G. Forum on Risks to the Public in Computers and Related Systems. **The Risks Digest**. v. 25, n. 21. ACM Committee on Computers and Public Policy, Peter G. Neumann, moderator. 2008. Disponível em: <<http://catless.com/Risks/25.21.html>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

NI, H.; et al. Non-intrusive sleep pattern recognition with ubiquitous sensing in elderly assistive environment. **Frontiers of Computer Science**. 2015, Volume 9, Issue 6, pp 966–979.

NIU; Q., et al. A hybrid scheduling algorithm of high speed radar tracking system based on CAN bus. **Radar Conference 2013, IET International**. DOI: 10.1049/cp.2013.0478. 2013.

NOF, S. Y. **Springer Handbook of Automation**. 1st. Springer Publishing Company, Incorporated. 2009.

ORDONEZ, E. D. M.; PENTEADO, C. G.; SILVA, A. C. R. **Microcontroladores e FPGAs -Aplicações em Automação**. Editora Novatec, pp. 360, 2005.

PARNELL, K. **Put the Right Bus in Your Car**. Xcell Journal. 2004.

POTTER, P.; PERRY, A. G. **Fundamentos de Enfermagem**. Tradução de Maria Inês Corrêa Nascimento et al. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SALGADO, P.O. et al. Nursing care to patients with high body temperature: an integrative review. **Rev Min Enferm**. 2015 j DOI: 10.5935/1415-2762.20150017 an/mar; 19(1): 220-226.

SHEN, B.; ZHOU, X.; WANG, R. **BER Analysis for Controller Area Network Impaired by the Impulse Noise in Cyber-physical Systems**. International Conference on Computer and Information Technology - IEEE. DOI 10.1109/CIT.2014.99.

SHARMA, S et al. **Wireless Body Area Network for Health Monitoring**. 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI). IEEE. 2011.

SIMÕES, A. L. B.; MARTINO, M. M. F. Viabilidade circadiana da temperatura oral, timpânica e axilar em adultos hospitalizados. **Rev. Esc. Enf. USP**, 2007, v.41, n.3, p.485-491.

Sociedade Brasileira de Cardiologia – SBC. V Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial. **Arq. Bras. Cardiol.** São Paulo. v. 89, n.3, 2007 <http://dx.doi.org/10.1590/S0066-782X2007001500012>.

StArt. **State of the Art through Systematic Review**. (Disponível em:<<http://lapes.dc.ufscar.br/ferramentas>>. Acesso em: 10/01/2015).

STOCK FLIGHT SYSTEMS. CANaerospace Interface Specification **Schützenweg, Germany**. v.1, n.7, 2006. Disponível em:<http://www.stockflightsystems.com/tl_files/downloads/canaerospace/canas_17.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2015.

WATERS, J.; OJALA. J. AND LACOURSE, J. **Standardization of Acute Health Care Digital Communications**. Joint Workshop on High Confidence Medical Devices, Software, and Systems and Medical Device Plug-and-Play Interoperability. 2007.

WATTS, R.; ROBERTSON, J.; THOMAS, G. Nursing management of fever in children: a systematic review. **Int J Nurs Pract Suppl**. v. 9, n.1, 2003, p.:S1-S8.

YUBIN , Z. et al. **Research on Intelligent Infusion Device Control System Based on Chip Microcomputer**. International Forum on Information Technology and Applications. 2010.

ZELTWANGER, H. **Controller Area Network and CANopen in Medical Equipment. Business Briefing: Medical Device Manufacturing & Technology**. 2002.

ZHANG, Y.; XIANG, X. Y.; POON, C. Y. **The Evaluation of Nodes of Body Sensor Networks: Wearable Blood Pressure Measuring Devices**. Proceedings of the International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06), Computer Society, IEEE, 2006.

ZHU, Q.; ZHU, D.; SU, X. Distributed remote temperature monitoring and acquisition system based on Can bus. In: **IEEE Prognostics and System Health Management Conference**, 978-4244-4758-9/10, 2010.

PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Objetivo

Sintetizar a produção científica nacional e internacional, sobre nodos sensores de sinais vitais em redes com fio nos últimos dez anos.

Questionamentos da pesquisa

Principal

Qp - Em que áreas redes com fio de alta velocidade tem sido aplicadas?

- População: Pesquisa que aborde redes com fio de alta velocidade
- Intervenção: Utilização de nodos sensores na captura de sinais vitais humanos
- Resultados: Tipos de nodos sensores utilizados na captura de sinais vitais humanos
- Aplicação: Nodos sensores para captura de sinais vitais humanos

Secundária

Qs - Quais as características de nodos sensores em redes com fio para a captura de sinais vitais humanos?

- População: Pesquisa que aborde a utilização de nodos sensores na área de saúde
- Intervenção: Abordagens sobre utilização de nodos sensores na captura de sinais vitais
- Resultados: Caracterização dos tipos de nodos sensores utilizados na captura de sinais vitais
- Aplicação: Nodos sensores para captura de sinais vitais humanos

Palavras-Chave

- Control Area Network
- Vital Signal Sensor
- Wearable Computer
- Wearable Computer Health
- Wearable Vital Signal Sensor
- Human Vital Sign
- Vital Signs Data Aggregation
- Personal Digital Assistant

Definição de critérios de seleção de fontes de pesquisa

- Artigos completos disponíveis online
- Idiomas português e inglês
- Publicados no período de 2006 a 2016

- Estudos que abordem áreas de aplicação das redes com fio de alta velocidade
- Estudos que abordem os tipos de nodos sensores para captura de sinais vitais humanos

Línguas estudadas

Português e inglês

Métodos de busca das fontes

Nessa pesquisa de estudos preliminares, utilizaremos a busca de publicações de artigos nos engenhos de busca na Web.

Lista de fontes de busca

- ACM
- IEEE
- Springer
- Scopus
- Science Direct

Critério de seleção dos trabalhos

(CI – Critério de Inclusão; CE – Critério de Exclusão)

CI1 - Trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de redes com fio de alta velocidade;

CI2 - Trabalhos que abordem a questão relacionada a nodos sensores;

CI3 - Trabalhos que abordem a questão relacionada à captura de sinais vitais humanos;

CI4 - Trabalhos publicados em conferências e revistas especializadas;

CE1 - Trabalhos que não estejam em português e inglês;

CE2 - Trabalhos que não apresentem texto completo;

CE3 - Trabalhos onde os termos de busca não se apresentem nos campos: título, resumo e palavras-chave;

CE4 - Trabalhos de conclusão de curso;

CE5 - Trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de redes sem fio;

CE6 - Trabalhos de revisão de literatura.

Definição dos tipos de trabalho

Serão considerados estudos que realizem abordagem qualitativa, quantitativa, de observação, estudo de viabilidade ou de caracterização sobre as questões relacionadas à comunicação de redes com fio de alta velocidade e que se constituam por nodos sensores para a captura de sinais vitais humanos.

Seleção preliminar dos trabalhos

Baseado no título, resumo, palavras-chave. Serão aplicados os critérios de inclusão e exclusão da seleção. Baseado no Título, resumo, palavras-chave.

Sumarização dos resultados

Os resultados serão tabulados para identificar os trabalhos que caracterizam o uso das redes com fio de alta velocidade, suas aplicações na área de saúde envolvendo nodos sensores para captura de sinais vitais humanos, através de análise descritiva.

CÓDIGO EMBARCADO NO MÓDULO ESP8266 NO MODELO WEBSERVER

```
//SMARTCAREWEBSERVER.INO
/*****
/* Aplicação WEB residente no ESP8266 para permitir acesso */
/* aos dados por dispositivos portáteis */
/* Código nativo da biblioteca do ambiente de desenvolv. */
/* Arduino para o módulo ESP8266 no modo WEBServer */
/* Modificado em: 01/08/2016 */
*****/

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266mDNS.h>

const char *ssid = "Smartroom";
const char *password = "Infr2015";

ESP8266WebServer server ( 80 );

void handleRoot() {
    String html;

    html += "<!DOCTYPE html>";
    html += "<html>";
    html += "<head>";
    html += "  <meta http-equiv='refresh' content='5' />";
    html += "  <title>SmartCare</title>";
    html += "  <style>";
    html += "    body { background-color: #cccccc; font-family: Arial, Helvetica, Sans-Serif; Color: #000088; }";
    html += "  </style>";
    html += "</head>";
    html += "<body>";
    html += "  <h1>Bem vindo ao SmartCare!</h1>";
    html += "  <a>Temperatura Sens 1</a><br>";
    html += "    drawGraph();
    html += "  </br>";
    html += "  <a>Temperatura Sens 2</a><br>";
    html += "    drawGraph();
    html += "  </br>";
```

```

html += "    <canvas id=\"canvasGrafico\"></canvas>";
html += " </body>";
html += "</html>";

    server.send ( 200, "text/html", html);

drawGraph();
}

void handleNotFound() {
    String message = "File Not Found\n\n";
    message += "URI: ";
    message += server.uri();
    message += "\nMethod: ";
    message += ( server.method() == HTTP_GET ) ? "GET" : "POST";
    message += "\nArguments: ";
    message += server.args();
    message += "\n";

    for ( uint8_t i = 0; i < server.args(); i++ ) {
        message += " " + server.argName ( i ) + ": " + server.arg ( i ) + "\n";
    }

    server.send ( 404, "text/plain", message );
}

void setup ( void ) {
    Serial.begin ( 115200 );
    WiFi.begin ( ssid, password );

    // Wait for connection
    while ( WiFi.status() != WL_CONNECTED ) {
        delay ( 500 );
    }

    Serial.println ( "" );
    Serial.print ( "Connected to " );
    Serial.println ( ssid );
    Serial.print ( "IP address: " );
    Serial.println ( WiFi.localIP() );

    if ( MDNS.begin ( "esp8266" ) ) {
        Serial.println ( "MDNS responder started" );
    }

    server.on ( "/", handleRoot );
    server.on ( "/test.svg", drawGraph );
    server.on ( "/inline", []() {
        server.send ( 200, "text/plain", "this works as well" );
    } );
    server.onNotFound ( handleNotFound );
    server.begin();
}

void loop ( void ) {

```

```

        server.handleClient();
    }

String drawGraph() {
    String out = "";
    char temp[100];
    out += "<svg xmlns=\"http://www.w3.org/2000/svg\" version=\"1.1\" width=\"1000\"
height=\"150\">\n";
    out += "<rect width=\"1000\" height=\"150\" fill=\"rgb(250, 230, 210)\" stroke-width=\"1\"
stroke=\"rgb(0, 0, 0)\" />\n";
    out += "<g stroke=\"black\">\n";
    int y = rand() % 130;
    for (int x = 10; x < 1000; x += 10) {
        int y2 = rand() % 130;
        sprintf(temp, "<line x1=\"%d\" y1=\"%d\" x2=\"%d\" y2=\"%d\" stroke-width=\"1\"
/>\n", x, 140 - y, x + 10, 140 - y2);
        out += temp;
        y = y2;
    }
    out += "</g>\n</svg>\n";

    return out;
}

```

CÓDIGO EMBARCADO NO MÓDULO ESP8266 NO MODELO WEBSERVER MODIFICADO PARA CAPTURA DOS DADOS COM DATA/HORA

```
//SMARTCAREWEBSERVER.INO
/*****
/* Aplicação WEB residente no ESP8266 para permitir acesso */
/* aos dados por dispositivos portáteis */
/* Código nativo da biblioteca do ambiente de desenvolv. */
/* Arduino para o módulo ESP8266 no modo WEBServer */
/* Modificado para captura dos dados com data/hora em: 01/08/2016 */
*****/
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266mDNS.h>

const char* ssid = "SmartroomOTAVIO"; // para modo AP
const char* password = "Infr2015";
const char* ssid2 = "Smartroom"; // Modo client

float cont = 0;
int opcao = 1;
String Temperatura1 = "";
String Temperatura2 = "";
String BPM1 = "";
String BPM2 = "";

const long interval_atualizar = 300; // intervalo para envio de temperatura
unsigned long previousMillis_atualizar = 0; // usado para comparacao do intervalo

ESP8266WebServer server ( 80 ); // servidor web

// Numero maximo de Clientes sockets
#define MAX_SRV_CLIENTS 2

WiFiServer server2(9760);
WiFiClient serverClients[MAX_SRV_CLIENTS];
```

```

// rtc
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
//RTC - Real Time Clock
RTC_DS1307 RTC;

// numero de dispositivos
#define numIds 3
boolean completo[numIds];
DateTime TempoInicio[numIds];
DateTime TempoFim[numIds];

String Temperatura_Temp[numIds];
String BPM_Temp[numIds];

String drawGraph() {
  String out = "";
  char temp[100];
  out += "<svg   xmlns=\"http://www.w3.org/2000/svg\"   version=\"1.1\"   width=\"1000\"
height=\"150\">\n";
  out += "<rect width=\"1000\" height=\"150\" fill=\"rgb(250, 230, 210)\" stroke-width=\"1\"
stroke=\"rgb(0, 0, 0)\" />\n";
  out += "<g stroke=\"black\">\n";
  int y = rand() % 130;
  for (int x = 10; x < 1000; x+= 10) {
    int y2 = rand() % 130;
    sprintf(temp, "<line x1=\"%d\" y1=\"%d\" x2=\"%d\" y2=\"%d\" stroke-width=\"1\" />\n", x, 140 -
y, x + 10, 140 - y2);
    out += temp;
    y = y2;
  }
  out += "</g>\n</svg>\n";

  return out;
}

float GetTemp(int id){
  char msg_temp[50];
  sprintf(msg_temp,"GET_TEMP=%u:\"",id);
  Serial.print(msg_temp);

  // inicio da contagem para registro de log
  if(completo[id])
  {
    TempoInicio[id] = RTC.now();
    completo[id] = false;
  }
}

```



```

float GetBPM(int id){
    char msg_temp[50];
    sprintf(msg_temp,"GET_BPM=%u:\"",id);
    Serial.print(msg_temp);
}

```

```

void handleRoot() {
    String html;

    html += "<!DOCTYPE html>";
    html += "<html>";
    html += "<head>";
    html += "    <meta http-equiv='refresh' content='1'/'>";
    html += "    <title>SmartCare</title>";
    html += "    <style>";
    html += "        body { background-color: #cccccc; font-family: Arial, Helvetica, Sans-Serif; Color: #000088; }";
    html += "    </style>";
    html += "</head>";
    html += "<body>";
    html += "    <h1>Bem vindo ao SmartCare!</h1>";
    html += "    <a>Dispositivo ID : 1</a><br>";
    html += "    <a>Temperatura ";
    html += "        Temperatura1;
    html += "    </a><br>";
    html += "    <a>BPM: ";
    html += "        BPM1;
    html += "    </a><br><br>";
    //html += "        drawGraph();
    html += "    <br>";
    html += "    <a>Dispositivo ID : 2</a><br>";
    html += "    <a>Temperatura ";
    html += "        Temperatura2;
    html += "    </a><br>";
    html += "    <a>BPM: ";
    html += "        BPM2;
    html += "    </a><br>";
    //html += "        drawGraph();
    html += "    <br>"; html += "    <canvas id='\"canvasGrafico\"'></canvas>";
    html += "</body>";
    html += "</html>";

    server.send ( 200, "text/html", html);
}

```

```

void handleNotFound() {
    String message = "File Not Found\n\n";
    message += "URI: ";
    message += server.uri();
    message += "\nMethod: ";
    message += ( server.method() == HTTP_GET ) ? "GET" : "POST";
    message += "\nArguments: ";
    message += server.args();
}

```

```

        message += "\n";

        for ( uint8_t i = 0; i < server.args(); i++ ) {
            message += " " + server.argName ( i ) + ": " + server.arg ( i ) + "\n";
        }

        server.send ( 404, "text/plain", message );
    }

void setup ( void ) {
    Serial.begin ( 9600 );

    //----MODO AP-----

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.disconnect();
    delay(100);

    //WiFi.mode(WIFI_AP_STA);
    //WiFi.softAP( ssid, password );
    //WiFi.softAP( ssid );

    //----Modo Client-----

    WiFi.begin ( ssid2, password );

    // Wait for connection
    while ( WiFi.status() != WL_CONNECTED ) {
        delay ( 1000 );
    }

    WiFi.config(IPAddress(10,97,20,106), IPAddress(10,97,20,1), IPAddress(255,255,255,0));

    //-----*/
    /*
    * Serial.println ( "" );
    * Serial.print ( "Connected to " );
    * Serial.println ( ssid );
    * Serial.print ( "IP address: " );
    * Serial.println ( WiFi.localIP() );*/

    // DNS esp8266.local
    if ( MDNS.begin ( "esp8266" ) ) {
        //Serial.println ( "MDNS responder started" );
    }

    // Adiciona referencias URL de paginas
    server.on ( "/", handleRoot );
    server.on ( "/test.svg", drawGraph );
    server.on ( "/inline", []() { server.send ( 200, "text/plain", "this works as well" ); } );
    server.onNotFound ( handleNotFound );

    // Inicializa servidor WEB
    server.begin();

```

```

// Inicializa servidor Socket 9760
server2.begin();
server2.setNoDelay(true);

// iniciando parametros para o RTC
Wire.begin(0,2); // SDA,SCL comunicacao I2C para acesso ao modulo RTC
delay(50);
RTC.begin();//Inicializacao do modulo RTC
delay(50);
//Verifica se o modulo esta funcionando ou nao
if (! RTC.isrunning()) {
  Serial.println("RTC is NOT running!");
  //Ajusta a data/hora do Clock com a data/hora em que o codigo foi compilado, basta descomentar a
linha
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
}

// inicializa variaveis
for (int x = 0; x <= numIds; x++) {
  completo[x] = true;
  //inicio[x];
  //fim[x];
  //Temperatura_Temp[x] = "";
  //BPM_Temp[x] = "";
}

//-----
}

// funcao que converte DateTime em String
String rtc_toString2(DateTime dt)
{
char message[50];
//DateTime now = rtc.now();
int Day = dt.day();
int Month = dt.month();
int Year = dt.year();
int Hour = dt.hour();
int Minute = dt.minute();
int Second = dt.second();
sprintf(message, "%d/%d/%d %02d:%02d:%02d",Day,Month,Year,Hour,Minute,Second );
return message;
}

//funcao que cria a linha de log
String logLine(DateTime ini,DateTime fim, int id ,String temp,String pulso)
{
  String linha = rtc_toString2(ini) +"|" + rtc_toString2(fim) +"|" + String(id,DEC) +"|" + temp +"|" +
pulso;
  return linha;
}

```

```
}
```

```
// Verifica se há alguma mensagem na serial
```

```
void VerificaSerial(){
```

```
    uint8_t i;
```

```
    // Verifica se há dados na serial
```

```
    if(Serial.available()){
```

```
        size_t len = Serial.available();
```

```
        uint8_t sbuf[len];
```

```
        //Serial.readBytes(sbuf, len);
```

```
        String Recebida = Serial.readString();
```

```
        // Verifica se a mensagem possui um tamanho mínimo
```

```
        if (Recebida.length() > 10){
```

```
            int d_type = Recebida.lastIndexOf('_');    // Obtém a posição do delimitador do tipo de mensagem
```

```
            int d_comando = Recebida.lastIndexOf('=');    // Obtém a posição do delimitador do comando recebido
```

```
            int d_id = Recebida.lastIndexOf(':');    // Obtém a posição do delimitador do id do dispositivo
```

```
            int d_valor = Recebida.lastIndexOf('*');    // Obtém a posição do delimitador do valor recebido
```

```
            if ((d_comando > 0) && (d_id > 0) && (d_valor > 0)){
```

```
                // Verifica se a mensagem é uma requisição
```

```
                if (Recebida.substring(0,d_type) == "GET"){
```

```
                    int n = Recebida.substring(d_comando + 1,d_id).toInt();
```

```
                // Verifica se é uma requisição de temperatura
```

```
                if (Recebida.substring(d_type + 1,d_comando) == "TEMP"){
```

```
                    if (Recebida.substring(d_comando + 1,d_id) == "1"){
```

```
                        Temperatura1 = Recebida.substring(d_id+1,d_valor);
```

```
                        Temperatura_Temp[n] = Temperatura1;
```

```
                    }
```

```
                if (Recebida.substring(d_comando + 1,d_id) == "2"){
```

```
                    Temperatura2 = Recebida.substring(d_id+1,d_valor);
```

```
                    Temperatura_Temp[n] = Temperatura2;
```

```
                }
```

```
            }
```

```
        // Verifica se é uma requisição de sinais Vitais
```

```

    if (Recebida.substring(4,d_comando) == "BPM")
    {
        if (Recebida.substring(d_comando + 1,d_id) == "1"){
            BPM1 = Recebida.substring(d_id+1,d_valor);

            BPM_Temp[n] = BPM1;
        }

        if (Recebida.substring(d_comando + 1,d_id) == "2"){
            BPM2 = Recebida.substring(d_id+1,d_valor);

            BPM_Temp[n] = BPM2;
        }

        // finaliza o ciclo para gerar o registro de log
        if(!completo[n])
        {
            TempoFim[n] = RTC.now();
            completo[n] = true;

            // completado transmite para os clientes conectados o log do ciclo
            for(i = 0; i < MAX_SRV_CLIENTS; i++){
                if (serverClients[i] && serverClients[i].connected()){
                    serverClients[i].println(          logLine(TempoInicio[n],TempoFim[n],          n,
Temperatura_Temp[n], BPM_Temp[n]) );
                    delay(1);
                }
            }
        }
    }
}
}
}
}

void loop ( void ) {

    //processa o servidor web
    server.handleClient();

    // ----- Conexoes do servidos socket 9760
    uint8_t i;
    //verifica novos clientes
    if (server2.hasClient())
    {
        for(i = 0; i < MAX_SRV_CLIENTS; i++){
            //find free/disconnected spot
            if (!serverClients[i] || !serverClients[i].connected()){
                if(serverClients[i]) serverClients[i].stop();
                serverClients[i] = server2.available();
                continue;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  }
  //no free/disconnected spot so reject
  WiFiClient serverClient = server2.available();
  serverClient.stop();
}
// -----

// Verifica se hÃ¡ novos dados na serial
VerificaSerial();

unsigned long currentMillis_atualizar = millis();

if(currentMillis_atualizar - previousMillis_atualizar >= interval_atualizar)
{
  // save the last time you read the sensor
  previousMillis_atualizar = currentMillis_atualizar;

  if (opcao == 1){ GetTemp(1); }
  if (opcao == 2){ GetTemp(2); }
  if (opcao == 3){ GetBPM(1); }
  if (opcao == 4){ GetBPM(2); }

  opcao += 1;
  if (opcao > 4){ opcao = 1; }

}

/*
if (cont > 300){
  if (opcao == 1){ GetTemp(1); }
  if (opcao == 2){ GetTemp(2); }
  if (opcao == 3){ GetBPM(1); }
  if (opcao == 4){ GetBPM(2); }

  opcao += 1;
  if (opcao > 4){ opcao = 1; }

  cont = 0;
}else{
  cont += 0.001;
}

*/
}

```

CÓDIGO PYTHON CLIENT PARA CAPTURA DOS DADOS COM DATA/HORA

```
import socket #for sockets
import sys #for exit
import struct
import time

#create an INET, STREAMing socket
try:
    s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
except socket.error:
    print 'Failed to create socket'

print 'Socket Created'

host = '10.97.20.104';
port = 9760;

try:
    remote_ip = socket.gethostbyname( host )

except socket.gaierror:
    #could not resolve
    print 'Hostname could not be resolved. Exiting'

#Connect to remote server
s.connect((remote_ip , port))

print 'Socket Connected to ' + host + ' on ip ' + remote_ip
print 'Message send successfully'

def recv(the_socket,timeout=2):

    #make socket non blocking
    the_socket.setblocking(0)

    #total data partwise in an array
    data="";

    while 1:
        #recv something
        try:
            data = the_socket.recv(8192)
            if data:
```

```

        print("".join(data))

    try:
        arquivo = open('log.txt', 'r')
        texto = arquivo.readlines()
        texto.append(data)
        arquivo = open('log.txt', 'w')
        arquivo.writelines(texto)
        arquivo.close()
    except:
        arquivo = open('log.txt', 'w')
        arquivo.write(data)
        arquivo.close()

    else:
        #sleep for sometime to indicate a gap
        time.sleep(0.1)
    except:
        pass

    #join all parts to make final string
    return "".join(total_data)

    #get reply and print
    print recv(s)

    #Close the socket
s.close()

```
